
FUNDAMENTOS
DE
MUSICA ELECTRONICA
CON
SINTETIZADORES
CLK Generator
Total Gate
Latch
ARP CLK
INT CLK RATE
INT CLK
Control Board G Ass'y
+15V
-15V
TUNE 4
TUNE 3
TUNE 2
TUNE 1

FUNDAMENTOS DE MUSICA ELECTRONICA CON SINTETIZADORES

EDICION ESPAÑOLA AUTORIZADA A VIETA AUDIO ELECTRONICA, S.A. BARCELONA (ESPAÑA)
Traducción española por: Andrés Lewin-Richter, Dr. Ingeniero Industrial
D.L. 28736
DISTRIBUIDO POR: MUSIC DISTRIBUCION, S.A. Apartado 23135. Barcelona.

INDICE

INTRODUCCION

Tal como indica el título el propósito de este libro es establecer unas bases para el estudio de la música electrónica, particularmente en función del sintetizador por control de tensión. El juego de manuales del sintetizador Roland Sistema 100 también resultará de utilidad para el lector. Mediante una serie de ejercicios estos manuales demuestran cómo se puede aplicar la teoría a un sistema de música electrónica en particular. También incluyen ejemplos, descritos paso a paso, de una grabación de música electrónica utilizando el sintetizador y el equipo más usual de alta fidelidad.

Con la aparición en el mercado de sintetizadores más pequeños y equipos de estudio semiprofesionales, tales como mezcladores y magnetofones multipista, el mundo de la música electrónica ya no queda limitado a grandes instituciones y organizaciones. Para un músico creativo se abre un nuevo mundo. Ahora muchos músicos tendrán la oportunidad de trabajar con una orquesta y probar sus propios arreglos o composiciones originales. Además, el personal de las compañías discográficas ya no tienen tiempo de leer una partitura y "oir" mentalmente cómo suena una nueva canción; quieren oir una cinta de demostración. También hay muchos factores que intervienen en una composición que no pueden ser escritos de manera sencilla. El joven compositor rara vez tiene una oportunidad de oir sus obras interpretadas por una gran orquesta o un gran conjunto. Así pues ¿cómo puede aprender un músico joven el arte de la instrumentación, si nunca puede oir los resultados de sus esfuerzos? ¿Estudiando las partituras de obras importantes? ¿Analizando las sonoridades en buenas grabaciones? Esto se parece a estudiar grandes obras de escultura y después intentar hacer una escultura con los ojos vendados.

La combinación de la electrónica y la música abre un mundo cuyo único límite es la imaginación del músico.

El sintetizador puede crear todos los sonidos de la música convencional o crear sonidos nunca oidos hasta ahora, pero no se puede tener acceso a este mundo sin tener un conocimiento básico del sintetizador. Este libro tiene como objeto proporcionar esta base.

Director del Proyecto Sintetizador .
Roland Corporation

Osaka, Japón
Agosto 1978

CAPITULO 1

¿QUE ES EL SONIDO?

1 - 1 Introducción

Cuando se trata de métodos de sintetización de sonidos, muchos textos, incluyendo éste, parecen dar énfasis a la imitación de instrumentos musicales convencionales y de sonidos de la naturaleza. Existe un motivo importante que lo justifica. Toda síntesis está basada en un principio fundamental: la construcción del sonido a partir de sus elementos básicos. Para entender estos elementos debemos entender algo de acústica. Si aprendemos a imitar los sonidos con los que estamos familiarizados tenemos una buena escuela para sintetizar cualquier sonido imaginable desde las ululaciones, los blips y los bumps puramente electrónicos, hasta la creación de instrumentos imaginarios, instrumentos que no existen en el mundo real, pero que suenan como si realmente existieran en alguna parte en forma de instrumentos acústicos.

La finalidad de este capítulo es proporcionar unos fundamentos de acústica elemental.

1 - 2 Sonido

Sonido es lo que experimentamos cuando el oído reacciona a una cierta gama de vibraciones. Las propias vibraciones pueden ser definidas como sonido.

La mayoría de las fuentes sonoras producen sonido mediante elementos que pueden vibrar cuando se frotan, golpean o se excitan por otros medios. Otros producen sonido por excitación directa del aire, como por ejemplo, soplando a través de la boca de una botella, poniendo en vibración el aire que está dentro, produciendo sonido. Los instrumentos electrónicos producen sonido sólo de forma directa; producen vibraciones en forma de corrientes eléctricas que normalmente son procesadas y canalizadas por un amplificador donde se refuerzan de tal forma que son capaces de mover un altavoz. El cono vibrante del altavoz llega a producir sonido.

Los elementos característicos del sonido son: tono, timbre (color) e intensidad. La combinación de estos tres elementos nos permite diferenciar cada uno de los sonidos.

1 - 3 Tono

Tono es aquella característica por la que un sonido parece más agudo o más grave que otros. El tono viene determinado por el número de vibraciones que se producen en un determinado período de tiempo. El número de vibraciones por unidad de tiempo de una fuente se denomina **frecuencia**; cuanto mayor la frecuencia (o superior sea el número de vibraciones por unidad de tiempo) más agudo será el tono.

Para obtener tonos patrón de precisión se utilizan los diapasones, tanto en los laboratorios como para afinar instrumentos musicales. Un examen más profundo revelará que cuando un diapasón se golpea contra la superficie de una pieza de goma dura, los brazos de la horquilla aparecen algo difusos debido a sus vibraciones. Si se sumergen los brazos vibrantes de la horquilla en un vaso de agua, el agua se agitará violentamente.

De forma similar, los brazos vibrantes de la horquilla de un diapasón también agitan el aire a su alrededor y por lo tanto emiten ondas. Esto se muestra en la fig. 1-1. Cuando el brazo se mueve lateralmente comprime las partículas de aire entre sí. Esta perturbación de las partículas de aire se propaga de manera que del brazo sale un impulso de compresión. Cuando el brazo se mueve hacia el otro lado produce una rarefacción de partículas de aire que también se propaga.

Es importante observar que las partículas individuales de aire se mueven sólo hacia adelante y hacia atrás y por lo tanto transmiten a partir de la fuente las ondas de compresión y rarefacción.

La distancia entre dos puntos equivalentes de dos pulsos consecutivos se denomina longitud de onda (λ). La longitud de onda dependerá del número de vibraciones del sonido y de la velocidad de propagación de las ondas. La velocidad de propagación del sonido en el aire es aproximadamente 331 metros por segundo (unos 1200 km/h). Esta velocidad variará ligeramente con la temperatura y la densidad del aire. Despreciando estos aspectos y suponiendo que la velocidad del sonido es constante, la longitud de onda será proporcional a la frecuencia de la fuente,

$$\lambda = \frac{V}{f} \qquad f = \frac{V}{\lambda} \qquad V = \lambda f$$

donde: λ = longitud de onda en metros
V = velocidad del sonido en metros por segundo
f = frecuencia en vibraciones por segundo

Por lo tanto cuanto mayor sea la frecuencia de las vibraciones tanto menor será la longitud de onda, y más agudo el tono.

La frecuencia se expresa generalmente en unidades denominadas herzios (Hz), en honor a Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894). Si una fuente sonora vibra a 100 vibraciones por segundo, se dice que tiene una frecuencia de 100 herzios.

La respuesta del oido a la frecuencia, es decir, la gama de frecuencias audibles, variará de una persona a otra. Un individuo medio puede percibir sonidos entre unos 20 Hz y unos 20000 Hz. Algunas personas pueden llegar a percibir frecuencias del orden de 25000 Hz. El límite superior de frecuencia disminuirá a medida que una persona avanza en edad. Por ejemplo un individuo de unos 40 a 50 años sólo percibirá hasta unos 15000 Hz; mientras que en su ancianidad este límite puede reducirse hasta 10000 Hz.

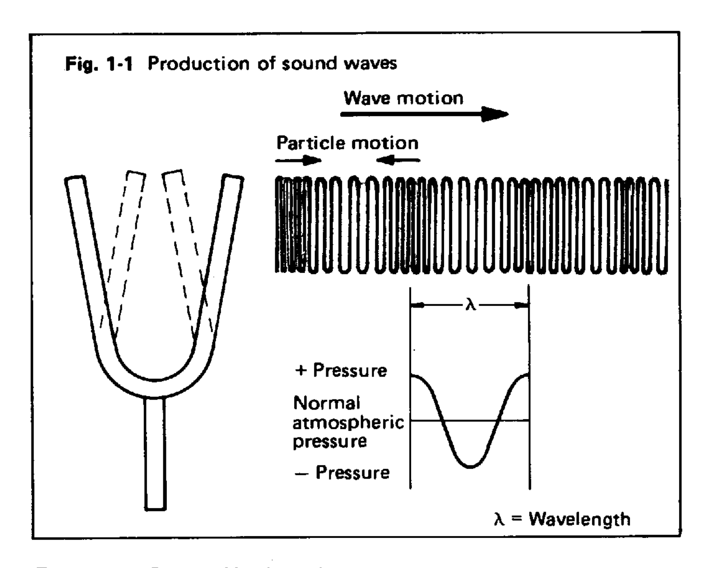


Fig. 1-1 Generación de ondas sonoras
Movimiento de la onda
movimiento de las partículas
presión
presión atmosférica normal
longitud de onda

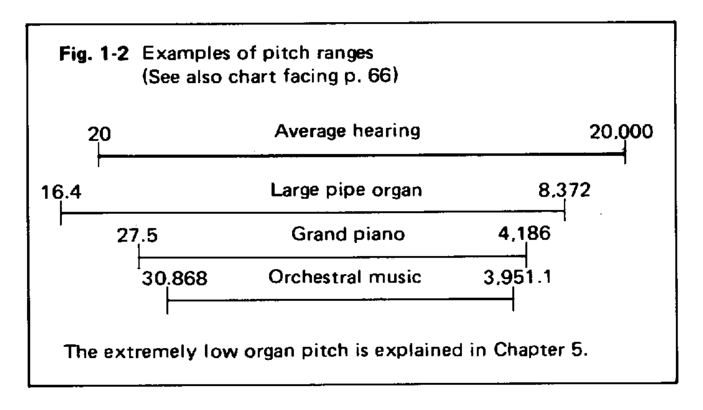


Fig. 1-2 Ejemplos de campos de frecuencia
(véase también el gráfico frente a la pág. 66)
audición media
gran órgano
piano de cola
orquesta
la frecuencia tan grave del órgano se explica en el capítulo 5

1-4 Resonancia en columnas de aire

Un análisis sobre tonos puede comenzar con una investigación sobre la resonancia. Es bien sabido que la mejor manera de mantener en movimiento un columpio es dándole pequeños impulsos al mismo ritmo que el período natural del columpio. Este es un ejemplo clásico de resonancia. La cantidad de energía para mantener el columpio en movimiento es bastante reducida, comparado con la cantidad de energía disponible del propio movimiento del columpio.

La resonancia se produce cuando un cuerpo o un sistema se pone a vibrar a su frecuencia natural a resultas de impulsos recibidos de otro cuerpo o sistema vibrando a la misma frecuencia.

La resonancia con ondas sonoras puede demostrarse utilizando tubos de resonancia tal como se muestra en la fig. 1-3.

Subiendo y bajando un tubo situado dentro de un alto recipiente de agua se varia la longitud efectiva de la columna de aire dentro del tubo. Comenzando con una columna de aire muy corta, se mantiene sobre la boca del tubo un diapasón vibrando. A medida que se levanta lentamente se producirá una resonancia cuando la columna de aire alcanza una cierta longitud crítica y se producirá un tono relativamente potente. Si se levanta más el tubo, se encontrarán otros puntos de resonancia.

La fig. 1 - 4 muestra cuál es el motivo. Supongamos que el brazo inferior se mueve hacia abajo, tal como se indica en (a). Esto hará que una pulsación de compresión descienda a lo largo del tubo, se reflejará en la superficie del agua y volverá a la boca. Si la compresión llega a la boca del tubo justo en el momento en que la horquilla ha alcanzado su posición más baja y está a punto de moverse hacia arriba (como en (b)), la compresión vendrá seguida de una pulsación de rarefacción que también descenderá por el tubo y se reflejará en la superficie del agua. En este momento, el brazo de la horquilla ha completado un ciclo de una longitud de onda del sonido y la onda sonora (una compresión y una rarefacción) ha subido y bajado dos veces el tubo. Así se deduce que la longitud de la columna es un cuarto de la longitud de onda del sonido (1). Este es el principio fundamental que determina el tono producido por todas las fuentes sonoras que consisten en un tubo con un extremo cerrado.

También se puede producir resonancia con un tubo abierto por ambos extremos, tal como se muestra en la fig.1 - 5 En este caso, las compresiones y rarefacciones viajan a lo largo del tubo ya que no existe un extremo cerrado que refleja las ondas. La longitud del tubo será equivalente a media longitud de onda del sonido; o la longitud de onda será dos veces la longitud del tubo.

(1) En la práctica si se realizan mediciones se observará que existe una discrepancia en la longitud del tubo. Esto es debido al hecho que las ondas sonoras producidas en la resonancia realmente se alargan ligeramente más allá del extremo abierto del tubo, debido a perturbaciones del aire en esta zona. La cantidad que se alarga la onda se denomina corrección del extremo.
(2) Esta afirmación no tiene en cuenta la pequeña discrepancia debida a la corrección del extremo (ya que ambos extremos del tubo están abiertos y deben tenerse en cuenta estas correcciones).

1 · 5 Resonancia en cuerdas

Tres factores determinan el tono que producirá una cuerda vibrante: su longitud, su diámetro y la tensión a la que está sometida la cuerda, sirva de ejemplo el guitarrista que cambia la longitud de las cuerdas apretándolas contra los trastes para que los tonos sean más agudos; cada cuerda de la guitarra tiene un diámetro distinto, las cuerdas más graves son las más gruesas; la guitarra se afina ajustando la tensión en las cuerdas, cuanto más tensa esté la cuerda más aguda será la nota.

Se pueden realizar experimentos con cuerdas vibrantes con un monocordio, también llamado sonómetro, de fácil construcción, tal como se muestra en la fig. 1 - 6

Se puede demostrar la resonancia de una cuerda vibrante con un monocordio y un diapasón. La forma más sencilla sería afinar el monocordio al unísono con el diapasón ajustando la

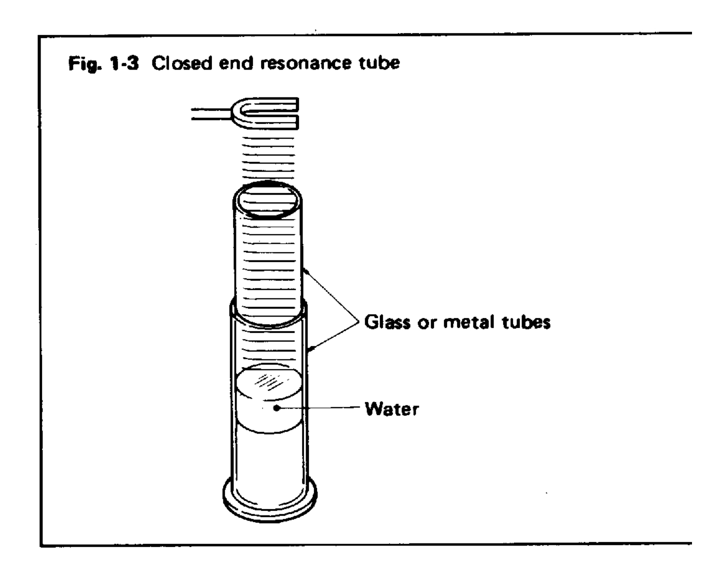


Fig. 1-3 Tubo resonante cerrado por un extremo
tubos de vidrio o metal
agua

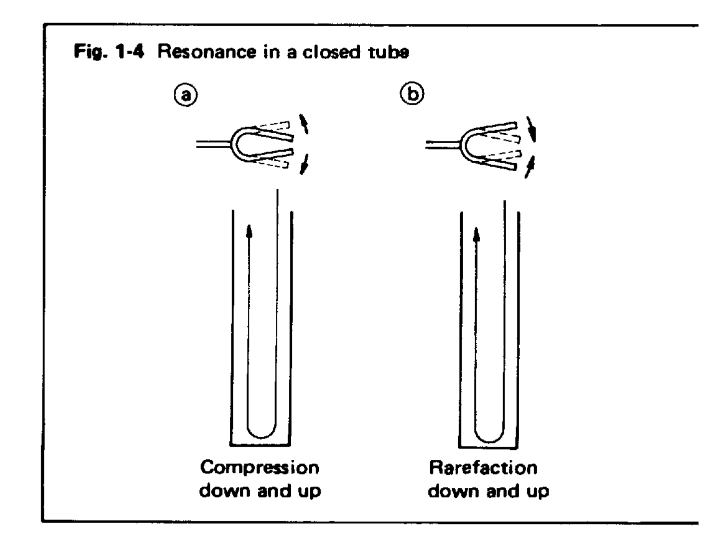


Fig. 1-4 Resonancia en un tubo cerrado
a) compresión baja y sube
b) rarefacción baja y sube

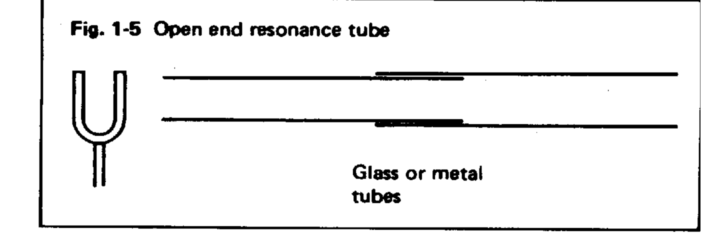


Fig. 1-5 Tubo resonante con extremo abierto
tubos de vidrio o metal

tensión de la cuerda y la posición de los puentes. Si están perfectamente al unísono, situando el pie del diapasón vibrante sobre un punto cerca de la cuerda en uno de los puentes, hará que vibre la cuerda. Es posible encontrar otros puntos de resonancia de la cuerda acercando el otro puente (sin cambiar la tensión de la cuerda) y anotando las posiciones en las que vibra la cuerda.

La frecuencia de las vibraciones de una cuerda tensa es inversamente proporcional a su longitud. Suponiendo que la tensión y el diámetro de la cuerda no varían, si una cuerda de longitud **l** (distancia entre puentes) produce una frecuencia de **x** herzios, entonces una cuerda de **1/2** producirá una frecuencia **2 x** herzios, una cuerda de **1/3** producirá una frecuencia de **3 x** herzios, etc.

Cuánto más gruesa y más pesada sea una cuerda, menor será su frecuencia para una determinada longitud y tensión. Las cuerdas más gruesas suelen ser más rigidas, lo que representará que el sonido se atenuará con rapidez, una característica no muy deseable en instrumentos musicales. Para obtener la masa necesaria sin pérdida de flexibilidad, las cuerdas graves generalmente tienen un arrollamiento de alambre. Esto puede observarse examinando las cuerdas de un piano o de una guitarra.

Sería posible hablar de forma similar sobre la relación de tamaño, tensión y masa, en las notas producidas por otros elementos vibrantes tal como lengüetas, varillas metálicas, etc.

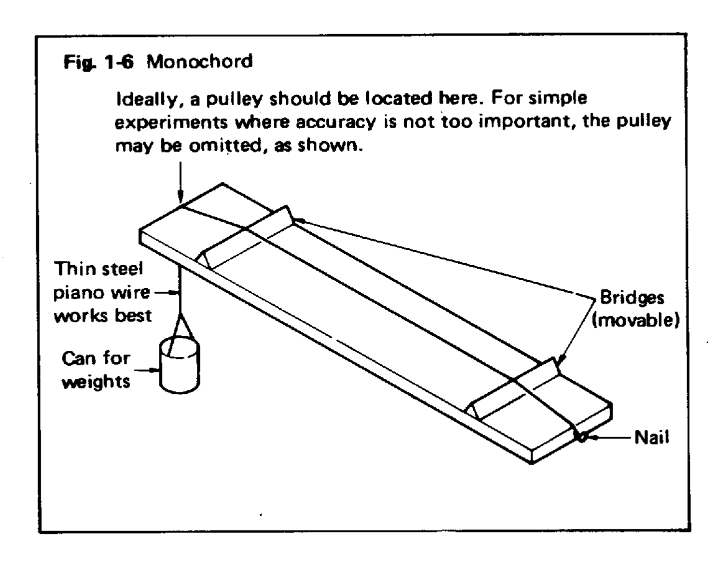


Fig. 1-6 Monocordio
Idealmente debiera colocarse aquí una polea. En el caso de experimentos sencillos donde la precisión no es muy importante, se puede eliminar la polea tal como en este caso
Cuerda de piano fina (es más apropiada)
recipiente para colocar pesos
Puentes (móviles)
Clavo

1 - 6 Timbre

Timbre o **color tonal** es aquel factor del sonido que nos permite distinguir entre dos fuentes sonoras que producen una misma nota sostenida.

Las ondas sonoras son el resultado de una vibración. Las vibraciones de la mayor parte de sistemas vibratorios tienden a ser bastante complejas ya que vibran a varias frecuencias simultáneamente. Es la combinación e interacción de estas frecuencias, llamadas armónicos o sobretonos, que dan a un sonido la calidad que conocemos como timbre.

1 - 7 Timbre en columnas de aire vibrante

En 1.4, más arriba, se mostró cómo pueden encontrarse puntos de resonancia utilizando tubos abiertos o cerrados y un diapasón. Empezando con la columna de aire más corta, si se alarga el tubo lentamente se observarán varios puntos de resonancia. El primer punto de resonancia será más potente que los otros, siendo los otros puntos de resonancia de intensidad progresivamente inferior. Utilizando el columpio como analogía de resonancia, los puntos de resonancia secundarios en los tubos equivaldrían a dar al columpio un empujón cada dos oscilaciones, o cada tres, cuatro, cinco o más oscilaciones. De aquí se desprende que si los impulsos no son producidos a cada oscilación (suponiendo impulsos de igual energía), entonces las oscilaciones serán de menor intensidad.

Como habrá varias longitudes de columna de aire que vibrarán, en resonancia a la frecuencia única del diapasón, resulta que una columna de longitud fija producirá resonancias a diferentes frecuencias.

Suponiendo que la longitud de un tubo abierto es tal que pro-

duce una resonancia con la frecuencia de un diapasón, los brazos vibrantes del diapasón actuarán como impulsos para iniciar la vibración del aire que está dentro. Como el tubo resuena a diferentes frecuencias además de la frecuencia propia del diapasón, los impulsos aportados por el diapasón harán que vibre simultáneamente el aire en su interior en todas estas frecuencias resonantes. Estas se llaman **armónicos** debido a su relación armónica (musicalmente).

La frecuencia más grave, o **primer armónico**, tiene una longitud de onda igual al doble de la longitud del tubo abierto (4). Esta frecuencia es generalmente la más potente y es precisamente esta frecuencia la que define el tono del sonido total. Por este motivo el primer armónico también recibe el nombre de **fundamental**.

Los otros armónicos son múltiplos del primer armónico o fundamental. El siguiente armónico es el segundo armónico con una frecuencia doble a la del fundamental. A continuación el tercer armónico con una frecuencia triple a la del fundamental y así sucesivamente, teóricamente hasta el infinito.

Esta serie de armónicos recibe el nombre de **serie armónica natural**. La mayoría de los sistemas vibratorios tienden a producir armónicos, pero no necesariamente todos los armónicos de esta serie. El sonido procedente de un tubo cerrado, por ejemplo, sólo contiene los armónicos impares. Esto es debido a que en los armónicos pares, la parte de onda reflejada por el extremo cerrado es cancelada por la parte opuesta de la onda procedente del extremo abierto. Por lo tanto el timbre producido por un tubo cerrado es distinto al del tubo abierto; contiene menos armónicos y es menos brillante.

(4) No teniendo en cuenta la corrección por extremos, como antes.

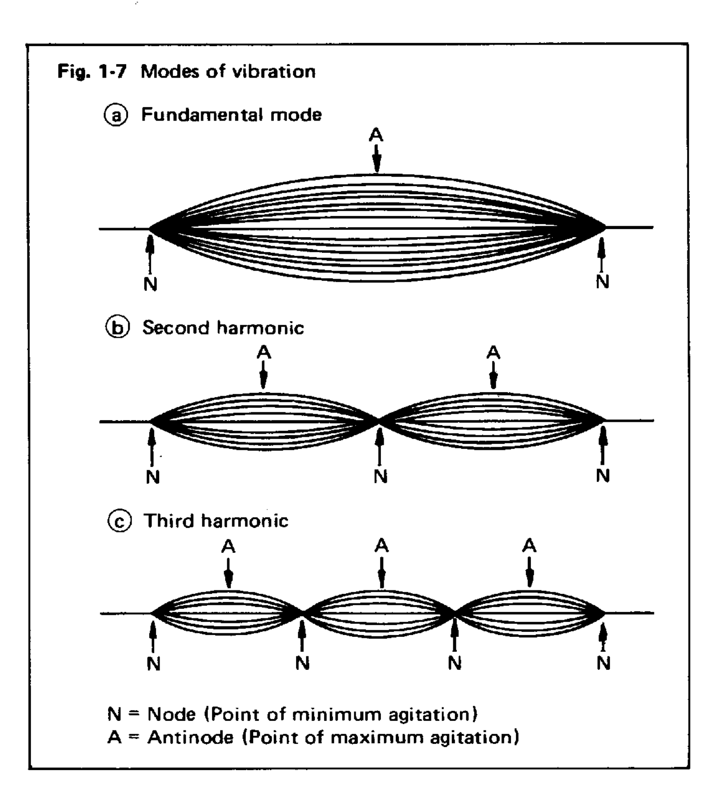


Fig. 1-7 Modos de vibración
a) fundamental
b) segundo armónico
c) tercer armónico
N = nodo (punto de agitación mínima)
A = antinodo (punto de agitación máxima)

1-8 Timbre en cuerdas vibrantes

En 1.5, más arriba, se mostró como la resonancia de las cuerdas puede comprobarse con un monocordio y un diapasón. Al igual que con una longitud fija de columna de aire, una cuerda con características constantes también resonará a diferentes frecuencias, todas ellas dentro de la serie armónica natural. En el experimento de resonancia en una cuerda, mencionado más arriba, si se pudieran conseguir varios diapasones, afinados con cada uno de los armónicos del primer diapasón, se observaría que estos diapasones también crearían vibraciones en resonancia con la cuerda. Al igual que el tubo abierto, la cuerda vibrante puede producir todos los armónicos de la serie armónica natural.

La fig. 1-7 muestra tres modos vibratorios de una cuerda (o tres de los armónicos) tal como se vería si se pudieran individualizar. En el modo fundamental de vibración (a), nodos o puntos de agitación mínima aparecen naturalmente en los extremos de la cuerda ya que está fija en estos puntos. En el siguiente modo de vibración (b), aparece otro nodo en el centro de la cuerda. Como éste divide efectivamente la cuerda en dos, la frecuencia producida por este modo de vibración es doble a la del fundamental, es decir, es el segundo armónico. El siguiente modo de vibración (c) añade otro nodo, que realmente divide la cuerda en tres partes, produciendo así el tercer armónico.

El timbre producido por una cuerda vibrante depende de cómo se excita la cuerda y en qué punto se produce la excitación a lo

largo de la misma. Por lógica se diría que no se puede producir un nodo en el punto de excitación. Si la cuerda es tañida o rasgada con el arco es imposible que aparezcan nodos (puntos en reposo) en este punto y como todos los armónicos pares presentan nodos en el centro faltarían éstos en el sonido resultante.

Antinodos, o puntos de máxima agitación, para el segundo armónico, se producen en un punto situado a un cuarto de la longitud de la cuerda a partir del extremo, tal como se muestra en la fig. 1-7 (b). Si se excita la cuerda en cualquiera de estos puntos, el segundo armónico dominará el sonido y cualquier armónico que tenga sus nodos en estos puntos faltará en el sonido resultante (en otras palabras, el tercer armónico y sus múltiples), como el fundamental no tiene ni nodo ni antinodo en estos puntos estará presente, pero será más débil que si la cuerda se excitara en su punto central. Es posible suprimir completamente el fundamental tocando ligeramente el nodo del segundo armónico (el punto central de la cuerda) con el canto de una tarjeta o una pluma, tal como se muestra en la fig. 1-8 (a). Si se suprime completamente el fundamental, la nota de la cuerda parecerá que corresponde al segundo armónico, ya que éste es el armónico de menor orden presente. Se pueden obtener armónicos por este mismo método utilizando los correspondientes nodos y antinodos. La fig. 1-8 (b) muestra cómo se puede obtener el 6º armónico. La nota producida estará a dos octavas y una quinta por encima del fundamental que falta. La mayor parte de los instrumentos de cuerda se excitan en las cercanías de uno de los extremos de la cuerda, por lo tanto los sonidos obtenidos son ricos en armónicos.

Se puede hacer una exposición similar cuando se habla de la posición de la cápsula en las cuerdas de una guitarra eléctrica. La cápsula detecta el movimiento de la cuerda que pasa sobre ella y genera pequeñas corrientes eléctricas que son el reflejo eléctrico de las vibraciones de la cuerda. Suponiendo que todos los armónicos están presentes en la cuerda vibrante, si la cápsula está situada debajo del centro de la cuerda, estará en el nodo del segundo armónico. Como un nodo es un punto de vibración mínima, la cápsula detectará muy poco, si llega, de la parte correspondiente al segundo armónico de la vibración de la cuerda. Todos los armónicos con un nodo en este punto faltarán en la salida de la cápsula. Otras posiciones de la cápsula producirán sonidos con un timbre distinto. Este es el motivo por el que muchas guitarras eléctricas tienen más de una cápsula.

El material con el que se fabrica una cuerda y su diámetro afectarán el timbre obtenido. La mayor parte de los instrumentistas de cuerda son conscientes de este fenómeno y a menudo utilizan en sus instrumentos unas marcas favoritas de cuerdas. Las cuerdas gruesas serán más rígidas y por esto tendrán dificultades para vibrar libremente en frecuencias más agudas. Con cuerdas gruesas, los armónicos más agudos tienden a atenuarse con mucha rapidez.

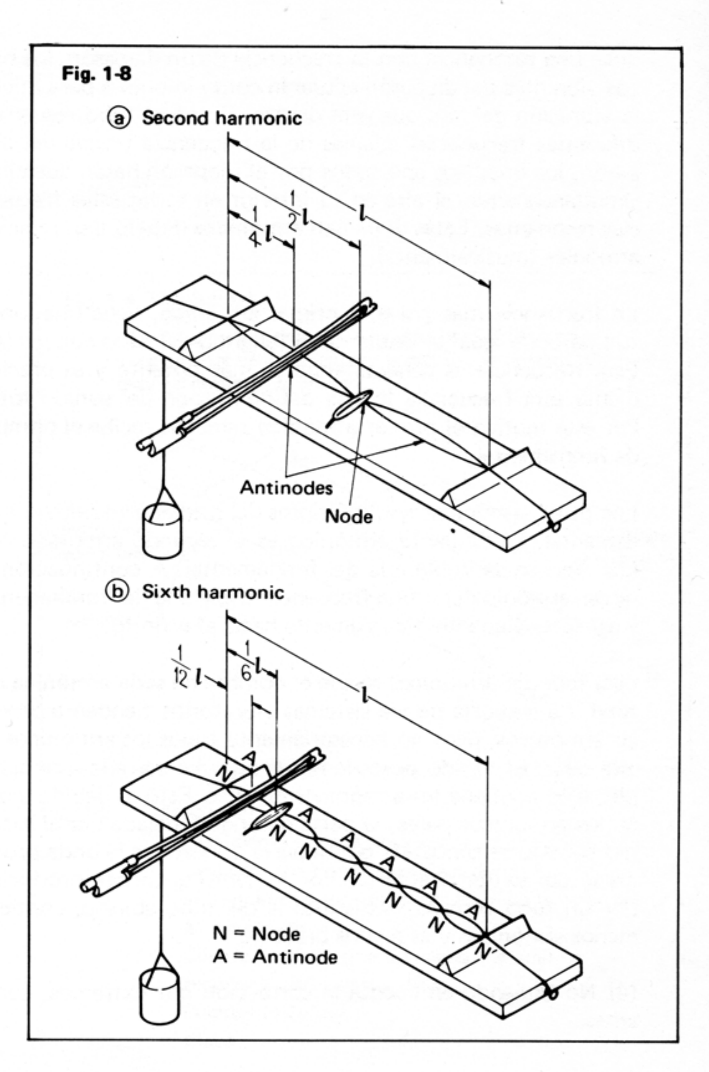


Fig. 1-8

a) segundo armónico
b) sexto armónico
N = nodo
A = antinodo

1 - 9 Timbre en instrumentos musicales

Hasta aquí nos hemos ocupado primordialmente de las fuentes de vibración que producen sonido, particularmente columnas de aire y cuerdas vibrantes. El cuerpo de un determinado instrumento también tiene un efecto decisivo sobre el timbre total.

Los elementos rígidos del cuerpo de un instrumento tienen sus

resonancias propias muy parecidas a las de las cuerdas vibrantes; las frecuencias de estas resonancias dependen de las dimensiones, la elasticidad y las tensiones de las diferentes regiones del cuerpo. Muchos instrumentos tales como violines, guitarras y timbales tienen cavidades de aire que resuenan de forma similar a las columnas de aire vibrantes. Estas resonancias del cuerpo y de la cavidad de aire interaccionan entre sí y con la fuente vibratoria de forma que resaltan y/u ocultan diferentes sobretonos producidos por la fuente sonora llegando en algunos casos a cancelar algunos sobretonos y/o añaden nuevos sobretonos no presentes en la fuente original de vibraciones. Esto explica por qué dos violines aparentemente iguales suenan diferentes. Por ejemplo la madera utilizada en su construcción puede ser distinta.

Para estudiar los factores que determinan el timbre de un instrumento musical, consideremos brevemente los elementos que generalmente afectan a todos los instrumentos de viento. Primero, si la columna de aire es cerrada o abierta. Los tubos cerrados no pueden producir armónicos pares. A continuación, la escala del tubo. Se refiere a la relación entre la longitud y el diámetro del tubo. Cuanto mayor sea la escala tanto más difícil será producir los armónicos superiores. Tercero, la forma del tubo. Cuarto, la presión de aire necesaria para producir las vibraciones. Quinto, el método de excitación, es decir, si el aire pasa por un canto o por una lengüeta. Sexto, la naturaleza y el grueso de las paredes que encierran la columna de aire. Y por último, el tamaño y la forma de la boca y sus regiones adyacentes.

Campanas y platillos son excelentes ejemplos de instrumentos que producen sobretonos que no entran dentro de la serie armónica natural. En el caso de los platillos estos sobretonos no armónicos son tan potentes y tan numerosos que ahogan cualquier fundamental que existiera, de forma que es imposible para el oido detectar un tono musical definido. Las campanas suelen tener bastantes sobretonos armónicos que nuestro oido puede reconocer como tono musical. Los sobretonos no armónicos son los que dan al sonido un timbre metálico vibrante y son típicos de las fuentes sonoras que utilizan placas metálicas como fuente de vibraciones.

Se debiera mencionar otro punto en relación con el timbre. La sala donde se produce el sonido también tendrá su influencia sobre el timbre de aquel sonido. La sala es una cavidad de aire con sus resonancias propias que interaccionan con el sonido. Salas pequeñas, tal como una sala de estar media, a menudo tienen un efecto relevante sobre el sonido que en ellas se produce. Especialmente se ven afectadas las frecuencias más bajas.

1-10 Intensidad

Lo primero que se piensa cuando se habla de **intensidad** en música es quizá **dinámica** (cambio de intensidad). A primera vista la intensidad como elemento del sonido puede parecer simple y no tan importante como los otros dos elementos, pero no es así.

La intensidad del sonido variará durante su emisión. Este gráfico de la intensidad recibe el nombre de envolvente del sonido y a menudo es un elemento muy importante para identificar un sonido. La fig. 1-9 muestra dos envolventes. En (a) se presenta la envolvente de un tono de una guitarra. Tan pronto el dedo suelta la cuerda, el sonido crece con rapidez a su intensidad máxima y después se atenúa con lentitud. El nivel máximo que se alcanza y el tiempo que se necesita para que se extinga el sonido dependerá de la fuerza aplicada al tañir la cuerda.

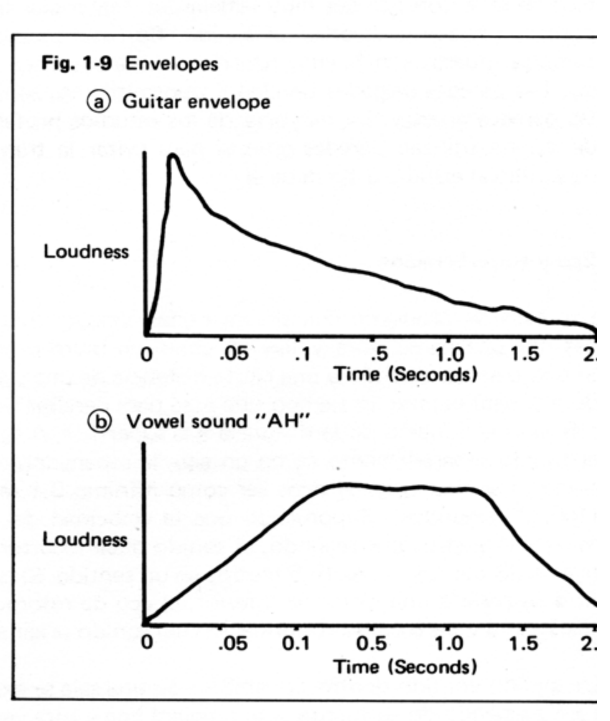


Fig. 1-9 Envolvente
a) envolvente de guitarra
b) sonido de la vocal "AH"
intensidad
tiempo (segundos)

En la fig. 1-9 (b) se muestra la envolvente de un "ah" vocalizado. Con el sonido de la guitarra la forma básica de la envolvente no cambiará; la única variación posible con respecto a esta forma básica sería amortiguar la cuerda antes de que cese de vibrar. En el caso de la voz la envolvente se puede variar considerablemente en función de la entonación del cantante o locutor.

La intensidad relativa de los sobretonos en un sonido también afectan su timbre. Los sobretonos agudos que se producen con un golpe de platillos, por ejemplo, son muy fuertes, mucho más que los sobretonos graves.

1 - 11 Propagación de las ondas sonoras

El sonido se propaga a partir de la fuente en forma de esferas que se expansionan. A medida que las ondas sonoras se propagan pierden intensidad. Si imaginamos un cuadrado que mide un centímetro de lado dibujado en la superficie de un globo si se hincha el globo observaremos que el cuadrado progresivamente se hará mayor. A medida que se propagan las ondas sonoras deben de cubrir progresivamente un espacio mayor, por lo tanto la energía sonora se disipa gradualmente hasta que finalmente es demasiado pequeña para ser detectada. La fig. 1-10 muestra lo que sucede a las ondas sonoras cuando encuentran un obstáculo tal como una pared. Una parte del sonido es reflejado por la superficie. Obsérvese la relación entre la fuente del sonido y la fuente aparente de las ondas reflejadas. Una parte del sonido que choca contra la pared es absorbida por la pared y todo aquel sonido que no es absorbido o reflejado será transmitido por la pared al aire que está detrás.

Fig. 1-10 **Propagation of sound waves**

APPARENT SOURCE OF REFLECTED WAVES

SOUND SOURCE

Fig. 1-10 Propagación de las ondas sonoras
Fuente aparente de las ondas reflejadas
Fuente sonora

La cantidad de sonido reflejado, absorbido y transmitido por la pared dependerá de los materiales utilizados en su construcción. Paredes duras y lisas tienden a reflejar una gran parte del sonido. Cuartos de baño y piscinas cubiertas son buenos ejemplos de salas con paredes muy reflejantes. Materiales ligeros y porosos tienden a absorber el sonido. Cortinas pesadas y alfombras gruesas son buenas superficies que absorben el sonido. Las paredes delgadas tienden a transmitir más sonido que las paredes gruesas. La mayoría de los estudios profesionales de sonido utilizan paredes gruesas para evitar la transmisión de sonido al estudio o fuera de él.

1 - 12 Eco y Reverberación

Los ecos se producen cuando las ondas sonoras son reflejadas por una pared dura y lisa tal como un muro o un risco. Si una persona se sitúa a una cierta distancia de una superficie dura y bate palmas, el tiempo que pasa para percibir el sonido reflejado es función de la distancia a la superficie. A fin de oir el sonido separadamente como un **eco**, la separación con respecto al sonido original debe ser como mínimo 0.1 segundos (100 milisegundos). Suponiendo que la velocidad del sonido es de 331 metros por segundo, el sonido debe recorrer por lo menos 33 metros, o sea 16,5 metros en un sentido. Si la superficie se halla a una distancia inferior, el eco de retorno no se distinguirá y parecerá la continuación del sonido original.

Un sonido emitido dentro del ámbito de una sala se expansionará partiendo de su fuente y se reflejará una y otra vez en las paredes, el suelo y el techo de la sala. Recordando que el sonido se expansiona esféricamente podrá comprenderse que estas reflexiones múltiples pronto pueden ser muy complejas. El efecto es que el sonido será reforzado y parecerá que subsiste un cierto tiempo más allá del momento en que la fuente sono-

ra original deja de emitir sonido. Este tipo de eco recibe el nombre de **reverberación.**

El tiempo de reverberación es el tiempo necesario para que las reflexiones de sonido en una sala se atenuen hasta un cierto nivel, una vez la fuente sonora haya cesado de emitir sonido. El tiempo de reverberación de una sala dependerá de las características reflectantes de sus superficies y la situación de los objetos en la sala. Se dice que algunos expertos son capaces de juzgar las dimensiones de una sala simplemente oyendo su reverberación. Muchos intérpretes se han quedado desconcertados por la aparente pérdida de potencia que se produce durante un espectáculo, comparado con los ensayos en la misma sala vacía. El público y su ropa son buenos elementos de absorción de sonido.

A mucha gente le gusta cantar mientras se toma un baño. La mayoría de los cuartos de baño tienen muy buenas características de reflexión con tiempos de reverberación largos. Las reverberaciones tienden a reforzar el sonido producido al cantar, de forma que incluso una persona con una voz pequeña suena potente y dramática en el ambiente del baño.

En música electrónica es muy importante diferenciar entre eco y reverberación. **Eco** es el efecto producido por reflexiones de sonido separadas. **Reverberación** es el efecto producido por reflexiones múltiples. En el eco las reflexiones se pueden oir con facilidad como repeticiones individuales del sonido original, aún cuando se superpongan. Este es el efecto eco familiar obtenido emitiendo un grito en las montañas. En la reverberación las reflexiones aparecen difusas de forma que no se oyen distintas repeticiones, más bien el sonido original parece que es más largo de lo normal.

1 - 13 Efectos espaciales

En música electrónica la mayoría de los sonidos se inician como vibraciones eléctricas generadas y controladas por el sintetizador y otros aparatos de estudio; por lo tanto suenan bastante "muertos" cuando son emitidos a través del altavoz. Se tiene que añadir un ambiente artificial para dar vida al sonido. Este es uno de los conceptos de **efecto espacial**.

El efecto más importante en música electrónica es la reverberación. Con la reverberación podemos crear una sensación de intimidad tal como en el caso de una orquesta de cámara en una sala pequeña, o la sensación de una fuerza sobrecogedora producida por un órgano en una gran catedral. La cantidad de reverberación controla el espacio en donde parece que tiene lugar la interpretación electrónica. Además no se está limitado a un tamaño de "sala". Podemos cambiar el volumen aparente del espacio, a voluntad, de tal manera que se acopla al caracter *de la música en cada momento.*

La reverberación también se puede utilizar para controlar la profundidad o la distancia. La persona sentada en primera fila de una sala de conciertos percibe en su mayor parte el sonido directo de los instrumentos, mientras que la persona sentada en la última fila percibirá más la reverberación que el sonido directo (suponiendo que no se utilicen altavoces). Esto da una clave al control de la distancia en música electrónica. Una melodía interpretada a bajo volumen añadiendo una gran cantidad de reverberación sonará muy distante con respecto al oyente. Una melodía interpretada a gran volumen con poca reverberación sonará muy cercana al oyente.

Aparte de la obtención de efectos especiales, el eco puede añadir complejidad a la música, produciendo repeticiones de sonidos ligeramente retrasadas. Cuando se utiliza con sonidos sostenidos tipo cuerda también puede añadir una sensación de profundidad. La repetición tardía de estos sonidos también crea un efecto de un grupo mayor de instrumentos.

Cuando un grupo de músicos (o cantantes) interpretan al unísono, la frecuencia emitida por cada uno de ellos será ligeramente diferente. Esta es una de las características que nos delatan que percibimos un grupo en lugar de un individuo. Unidades diseñadas para generar efectos corales procesan el sonido alterando ligeramente la frecuencia y recombinando esto con el sonido original para reproducir el efecto de un grupo de intérpretes.

La modulación de fase es otro efecto muy utilizado en música electrónica, el efecto real del sonido procesado por el **modulador de fase** es difícil de describir con palabras. Una descripción aproximada es comparar la salida de ruido producido por un sintetizador modulado en fase con el ruido producido por un avión a reacción que acaba de despegar y se aleja. La modulación de fase es un efecto que también es común en instrumentos acústicos y guitarras eléctricas.

1 - 14 Cuestionario

1. ¿Cuáles son los tres elementos de un sonido? Defínalos.
2. Suponiendo que la velocidad del sonido es de 330 metros por segundo, ¿cuál es la longitud de onda de un sonido de frecuencia 440 vibraciones por segundo?
3. ¿Cuál es la respuesta de frecuencia del oido en un ser humano normal medio?
4. Defina resonancia. Dé otros ejemplos de resonancia que se presenten en la vida cotidiana.
5. Enumere tres elementos que afectan la frecuencia producida por una cuerda vibrante y muestre cómo variaciones de cada uno de ellos afectan la frecuencia.
6. ¿Còmo se producen los sobretonos y cómo afectan al sonido?
7. Defina envolvente. Dé algunos ejemplos de sonidos conocidos y dibuje las envolventes aproximadas de cada uno de ellos.
8. ¿Qué tres cosas suceden cuando una onda sonora choca contra un obstáculo, tal como una pared? Dibuje este fenómeno.
9. ¿Qué diferencia existe entre eco y reverberación?
10. Explique cómo puede utilizarse la reverberación para controlar la distancia aparente entre la fuente del sonido y el oyente.

Palabras a definir

antinodo
armónico
eco
efecto espacial
envolvente
frecuencia
fundamental
herzio
Hz
intensidad
longitud de onda
monocordio
nodo
onda sonora
rarefacción
resonancia
reverberación
serie armónica natural
sobretono
sobretono no armónico
sonido
timbre
tono

CAPITULO 2
MUSICA ELECTRONICA

2 - 1 Introducción

Durante siglos los compositores han intentado romper las ataduras impuestas por su arte. Un estudio de partituras musicales demostrará cómo una y otra vez los compositores han intentado apartarse de los convencionalismos de su época en busca de nuevos medios de expresión. El uso de estructuras armónicas nuevas y la invención de nuevos instrumentos fueron el resultado de esta búsqueda. Por lo tanto no sorprende que el descubrimiento de la electricidad abriera las puertas al desarrollo de instrumentos que no fueran del tipo acústico.

Este texto trata principalmente sobre el sonido generado (sintetizado) electrónicamente. En la música electrónica no tratamos tanto las fuentes sonoras, sino más bien las fuentes de señales eléctricas (u ondas) que cuando se procesan y se canalizan a través de un sistema adecuado amplificador/altavoz se transforma en sonido. Sin embargo, no podemos excluir el tratamiento electrónico de fuentes sonoras acústicas, ya que la toma de sonido con un micrófono y su paso por un sistema amplificador/altavoz es un proceso electrónico, técnicamente hablando. Por este motivo es bastante difícil establecer una línea de separación entre música electrónica y música no electrónica, particularmente si la música electrónica a menudo usa fuentes sonoras acústicas, incluso sin alteración de la calidad sonora original.

En este capítulo estudiaremos brevemente algunas de las formas que adopta la música electrónica y exploraremos los métodos para sintetizar sonidos con un sintetizador.

2 - 2 Música Electrónica en vivo

Una de las formas de la música electrónica en vivo utiliza cinta magnética, previamente grabada con sonidos tratados o generados electrónicamente, que se reproduce conjuntamente con uno o más instrumentos en "vivo" que tocan contrapuntísticamente con la cinta. Otra forma de música electrónica en vivo utiliza uno o varios sintetizadores, algunas veces modelos reducidos, otras un sintetizador grande de estudio. Este tipo de música eventualmente puede hacer uso de cinta pregrabada. También pueden intervenir instrumentos acústicos. También es frecuente el uso de voces humanas en su forma natural y/o procesadas electrónicamente. La acción teatral puede ser parte de la interpretación, al igual que los efectos de luz, inclusive el uso de rayos láser.

2 - 3 Música concreta

En la música concreta fragmentos de sonidos grabados en cinta son cortados y pegados de diversas maneras para establecer una composición. Muchas veces estos fragmentos son modificados antes de ser introducidos en la composición final. Entre los muchos cambios posibles existen: cortes abruptos en el sonido, cambios drásticos o sutiles en velocidad, reproducción en sentido inverso, filtraje, etc., o una combinación de éstos. Cualquier sonido que puede ser grabado en cinta se convierte en objeto de esta forma artística. Desde este punto de vista se puede considerar un magnetofón como un instrumento musical, con tantas posibilidades artísticas como cualquier otro instrumento musical.

Aunque el tema de la música concreta no se estudie con detalle en este libro no se debe menospreciar su importancia. En los inicios de la música electrónica se consideraba la música concreta como una forma musical completamente distinta, sin relación alguna con la música generada con osciladores electrónicos, pero hoy ya no es así. Realmente las técnicas de la música concreta a menudo forman parte integral de la música electrónica generada con sintetizador y a menudo se utilizan los sintetizadores como fuentes sonoras y modificadores de sonido en música concreta.

2 - 4 Música Electrónica en cinta

La mayor parte de la música electrónica se presenta en forma de grabación como producto terminado. En la mayoría de los casos sería imposible oir de otra forma esta música grabada. Este tipo de música electrónica generalmente hace uso de un magnetofón multipista o de magnetofones ordinarios imitando técnicas de grabación de los multipista. Generalmente se sintetiza y se graba cada voz de una composición independientemente. Esto equivale a grabar una sinfonía tomando músico por músico para grabar cada parte.

2 - 5 Ondas

El diapasón es un ejemplo de fuente sonora en la que vibra todo; por lo tanto sólo produce el fundamental sin armónicos. Este sonido es muy limpio y puro. Si pudiéramos observar el movimiento de uno de los brazos de la horquilla e hiciéramos un gráfico de su movimiento obtendríamos una imagen como la mostrada en la fig. 2-1 (a). Los brazos vibrantes del diapasón son causa de diminutas variaciones de la presión de aire. Si se hiciera la gráfica de estas variaciones de presión el resultado sería tal como se muestra en (b). Si situamos un micrófono cerca del diapasón vibrante generaríamos diminutas variaciones de corriente eléctrica cuyas variaciones de tensión serían tal como se muestra en (c). Se podría conectar un amplificador al micrófono y hacer funcionar un altavoz. El cono móvil del altavoz produciría variaciones de presión que, suponiendo se tratara de un equipo perfecto, reproduciría exactamente las variaciones de presión de aire inicialmente producidas por el diapasón. La única diferencia estribaría en que las variaciones de presión de aire producidas por el altavoz pueden ser superiores (amplificadas) o inferiores (atenuadas) con respecto a las variaciones de presión de aire que llegan al micrófono, dependiendo de la posición del control de volumen del amplificador.

Los tres gráficos presentados en la fig. 2-1 representan la onda del sonido producido por el diapasón. La única diferencia entre estas ondas es el medio; es decir, en (a) es el movimiento de un brazo de horquilla, en (b) es la variación de la presión del aire y en (c) son variaciones de tensión. En música electrónica generalmente nos ocupamos de las variaciones de tensión.

La onda producida por un diapasón se denomina sinusoidal y matemáticamente está muy relacionada al círculo. Imaginémonos un foco ligado a la llanta de una rueda. Si fotografíamos con exposición de tiempo la rueda, en una sala oscura, a medida que rueda sobre el suelo, la curva que realizará será tal como se muestra en la fig. 2-3. Si alternadamente estas curvas se invirtieran de forma que siguieran por debajo del nivel cero (suelo), el resultado constituiría una onda sinusoidal perfecta. Las ondas sinusoidales son muy fáciles de generar utilizando medios mecánicos basados en el principio de la rueda. La

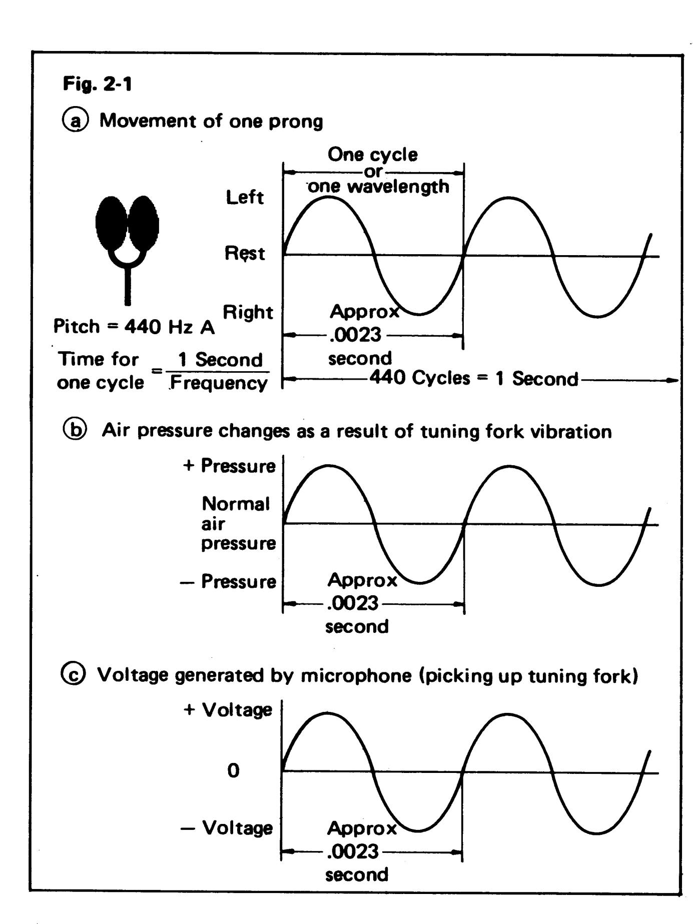


Fig. 2-1

a) movimiento de un brazo de la horquilla
frecuencia = 440 Hz (la)
tiempo por ciclo = 1 segundo/frecuencia
izquierda
descanso
derecha
un ciclo o una longitud de onda
aprox. 0,0023 segundos
440 ciclos = 1 segundo

b) variaciones de presión de aire como resultado de la vibración del diapasón
presión
presión normal del aire

c) tensión generada por el micrófono (captando el diapasón)
tensión

electricidad doméstica es generada con máquinas que giran y producen corriente en forma de onda sinusoidal. La mayoría de los países utilizan 50 o 60 Hz para usos domésticos. 60 Hz produce un tono cercano a **si** por debajo de la clave de **fa**, mientras que 50 Hz produce un tono cercano al **la bemol** por debajo del **la** anterior. Si tuviéramos diapasones que pudieran producir estas notas, la única diferencia entre el sonido de estos diapasones y el sonido que podría ser producido por la corriente eléctrica de uso doméstico sería su intensidad. Además el diapasón se atenuaría gradualmente.
Como los modos complejos de vibración de diversas fuentes sonoras producen sonidos con distintos contenidos en armónicos, cada tipo de fuente sonora generará su propia onda. En la fig. 2-4 se muestran algunos tipos de onda. Junto a cada onda se muestra su espectro. Esos espectros muestran el contenido en armónicos de cada sonido u onda. La frecuencia está indicada en la parte inferior de cada gráfica. Cada línea vertical gruesa representa un armónico y su longitud representa la participación de este armónico en el sonido total. En el caso de sonidos sintetizados los espectros resultarán mucho más útiles que las formas de onda. Sin embargo la forma de onda a veces es útil, tal como se puede observar en el caso de la flauta, que se aproxima bastante a una onda sinusoidal, dando a entender que el timbre de la flauta tiene pocos armónicos.

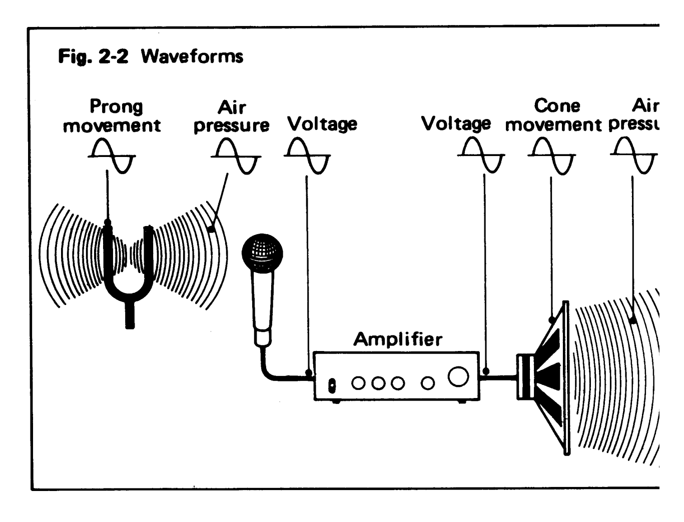


Fig. 2-2 Ondas
movimiento de las brazos de la horquilla
presión del aire
tensión
movimiento del cono
amplificador

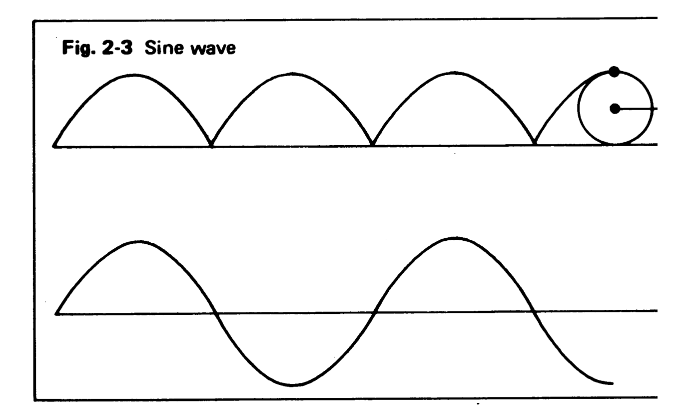


Fig. 2-3 Onda sinusoidal

2-6 Síntesis por adición y por eliminación

En música electrónica hay dos puntos de vista sobre la sintetización de sonido: síntesis por adición y síntesis por eliminación (1)

En la **síntesis por adición** partimos de ondas sinusoidales de diferentes frecuencias y las sumamos en sus proporciones correctas para producir un sonido con el contenido armónico adecuado. Este método requiere generalmente un número bastante grande de fuentes de ondas sinusoidales (una para cada armónico requerido). El contenido armónico de muchos sonidos cambia durante su emisión, por lo tanto el control exacto de la proporción de cada sinusoide individualmente resulta ser algo muy complejo. Por estos motivos la síntesis por adición no es tan frecuente como la síntesis por eliminación, pero aún así a veces se utiliza hasta cierto grado con sintetizadores diseñados para la síntesis por eliminación.

En la **síntesis por eliminación** partimos de un tipo de onda que es rico en armónicos y se utilizan filtros electrónicos para eliminar los armónicos no deseados con el fin de obtener el sonido previsto. En lugar de la columna de aire vibrante, la cuerda, la plancha metálica, etc. utilizamos un **oscilador** (generador electrónico de ondas) que se ajusta para generar una onda rica en armónicos. La salida del oscilador se conecta a un filtro que modifica el timbre de una forma no muy distinta al efecto del cuerpo de un instrumento musical. En muchos casos un filtro basta para sintetizar fácilmente unas imitaciones aceptables de muchos sonidos pero generalmente es preferible utilizar varios filtros para poder imitar con mayor precisión las características físicas del cuerpo de un instrumento y los cambios que se producen durante la emisión de cada nota. Entonces el oscilador equivaldría al elemento vibrante de un instrumento y el filtro al cuerpo de un instrumento.

En la síntesis por eliminación se utiliza generalmente la onda en diente de sierra (o rampa) y la onda cuadrada, representadas en la fig. 2-5. Una mirada a la simetría mecánica de estas ondas darán una idea de que son muy fáciles de generar electró-

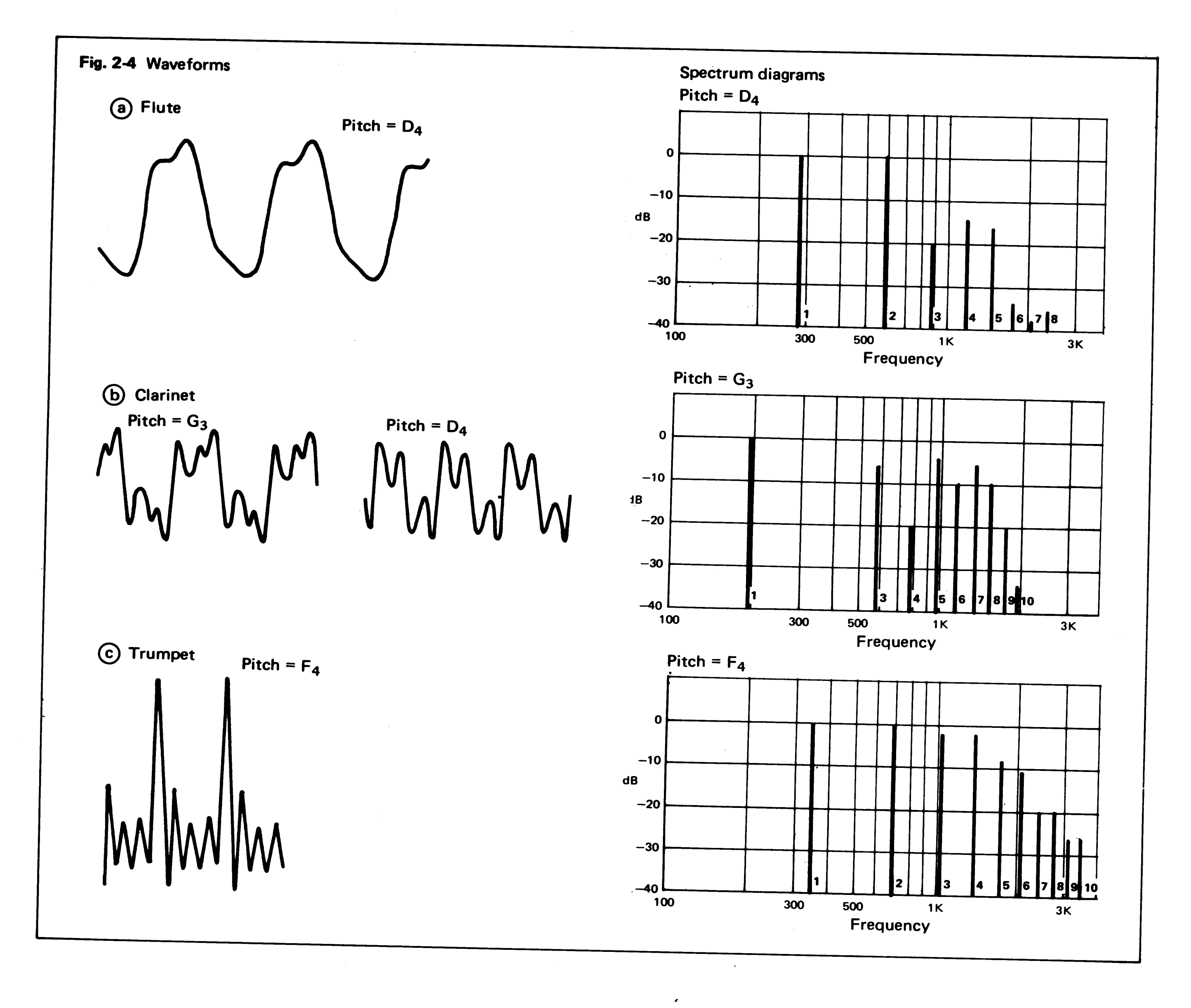


Fig. 2-4 Ondas
a) flauta tono = re4
b) clarinete. tono = sol3 tono = re4
c) trompeta tono = fa4
tono
frecuencia

nicamente. Por ejemplo una onda cuadrada puede generarse con un circuito que continuamente se abre y se cierra. Y también es relativamente fácil controlar con precisión la frecuencia de dichos generadores de ondas, siendo ésta una consideración muy importante para controlar perfectamente los tonos en música. La exactitud de estas ondas también es un índice de la regularidad de su contenido armónico tal como se muestra en los respectivos espectros.

En la fig. 2-6 (a) tres ondas sinusoidales representando las frecuencias x, 2x y 3x (es decir, el primer, segundo y tercer armónico) se suman, el resultado tiene un aspecto parecido a una onda en diente de sierra. La onda en diente de sierra perfecta (fig. 2-5 (a)), contiene armónicos que se extienden al infinito. En la fig. 2-6 (b) tres ondas sinusoidales de frecuencias x, 3x y 5x (armónicos impares) se suman con el resultado de que se parece mucho a una onda cuadrada.

La onda sinusoidal y la onda cuadrada son exactamente simétricas tanto horizontal como verticalmente, los gráficos se repiten continuamente, y si se invierten tienen el mismo aspecto y suenan igual, tal como se muestra en la fig. 2.7. Cuando se invierten, sólo cambia la fase o punto de partida. Obsérvese que si las ondas (a) y (b) se suman, el resultado es cero o sea no hay sonido. La mismo es cierto con las ondas (c) y (d).

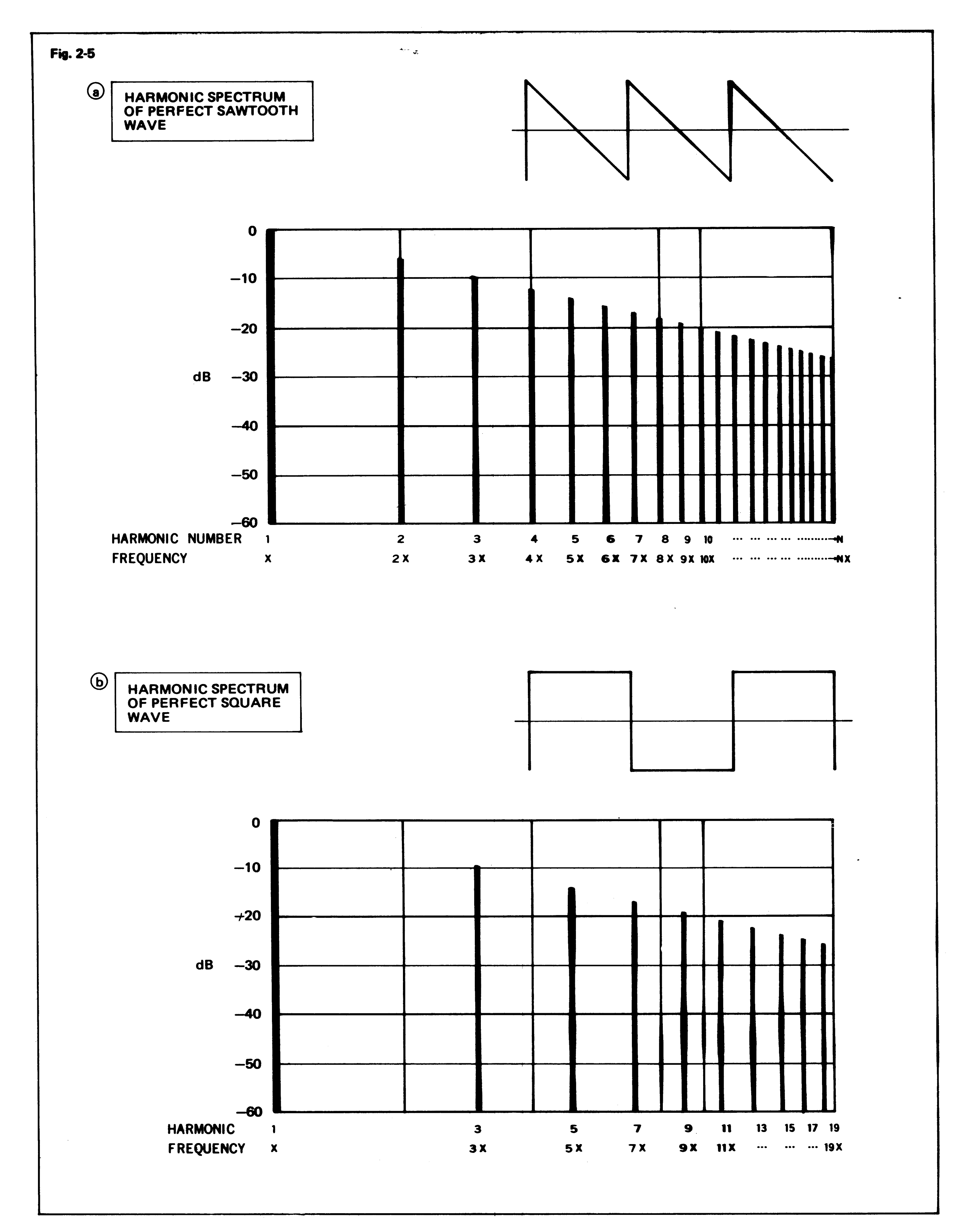


Fig. 2-5

a) espectro armónico de una onda en diente de sierra perfecta
b) espectro armónico de una onda cuadrada perfecta
armónico
frecuencia

La onda en diente de sierra puede parecer asimétrica verticalmente, porque tiene un aspecto distinto cuando se invierte, las rampas ascienden en vez de descender. La fig. 2.8. (a) muestra lo que sucede cuando sumamos tres ondas sinusoidales invertidas de frecuencia x, 2x y 3x. Como el sonido de una onda sinusoidal no cambia cuando se invierte cabe esperar que invirtiendo ondas sinusoidales no se obtendrá un sonido diferente que en el caso de sumar ondas sinusoidales no invertidas, y esto es exactamente lo que sucede. El sonido de la onda en diente de sierra invertida y el sonido de una onda en diente de sierra no invertida son idénticos. Por este motivo no tiene importancia si un sintetizador produce rampas ascendentes o descendentes como fuente de ondas en diente de sierra.
En la fig. 2-6 todos los armónicos están en fase. Es decir los armónicos cruzan el centro de la línea "0" al mismo tiempo (como así sucede al inicio de los períodos representados gráficamente) y se mueven en el mismo sentido: ascendente. En la fig. 2-8 (a) todos se mueven en sentido descendente. La fig. 2-8 (b) muestra lo que sucede cuando intentamos hacer una onda cuadrada con armónicos impares, pero invertimos uno (el tercer armónico), de forma que queda desfasado respecto a los anteriores. El punto importante en este caso es que aunque la onda resultante no se parece a una onda cuadrada, contiene los mismos armónicos que la onda en la fig. 2-6 (b) **por lo tanto sonará de la misma forma.** El timbre de una fuente sonora, por lo tanto, dependerá del contenido armónico del sonido y generalmente no guardará relación con las fases de estos armónicos excepto en aquellas fuentes sonoras donde la fase cambia continuamente (efecto producido por un modulador de fase). Este es el motivo por el cual los espectros son generalmente más útiles que el conocimiento de la forma de onda de una fuente sonora.

Aún así, en algunos casos conocer la forma de onda de una fuente sonora puede ser útil, tal como en el ejemplo de la flauta citado en el apartado 2.5 más arriba. Otro ejemplo es el del clarinete, cuyas ondas se muestran en la fig. 2-4 (b). Estas ondas claramente se aproximan a una onda cuadrada y comprobando el espectro se observa que los armónicos impares son más potentes que los armónicos pares. Esto y la forma de onda sugiere que la onda cuadrada sería un buen punto de partida para sintetizar un clarinete. Esto se realiza a partir del hecho que una onda cuadrada perfecta ya se parece mucho a un clarinete sin necesidad de proceso alguno. Obsérvese que la forma de onda para los dos tonos que se muestran son algo distintas, con lo que se prueba que el timbre del instrumento cambia con la nota.

(1) Esta presentación hace caso omiso de la síntesis directa por ordenador que se presenta un poco más adelante en este capítulo (2.11, pág.).

2 - 7 El sintetizador controlado por tensión

Todos los sintetizadores controlados por tensión son básicamente iguales. Las principales diferencias estriban en la caja, el número de elementos o módulos disponibles para la síntesis, el número de puntos de comunicación entre el músico y los circuitos internos y la sofisticación de los circuitos. Los principios de síntesis son los mismos para todos los sintetizadores.

El **control por tensión** se basa en el concepto de **modulación:** el control de un parámetro por otro. La mayoría de las fuentes sonoras producen un sonido que resulta bastante complejo.

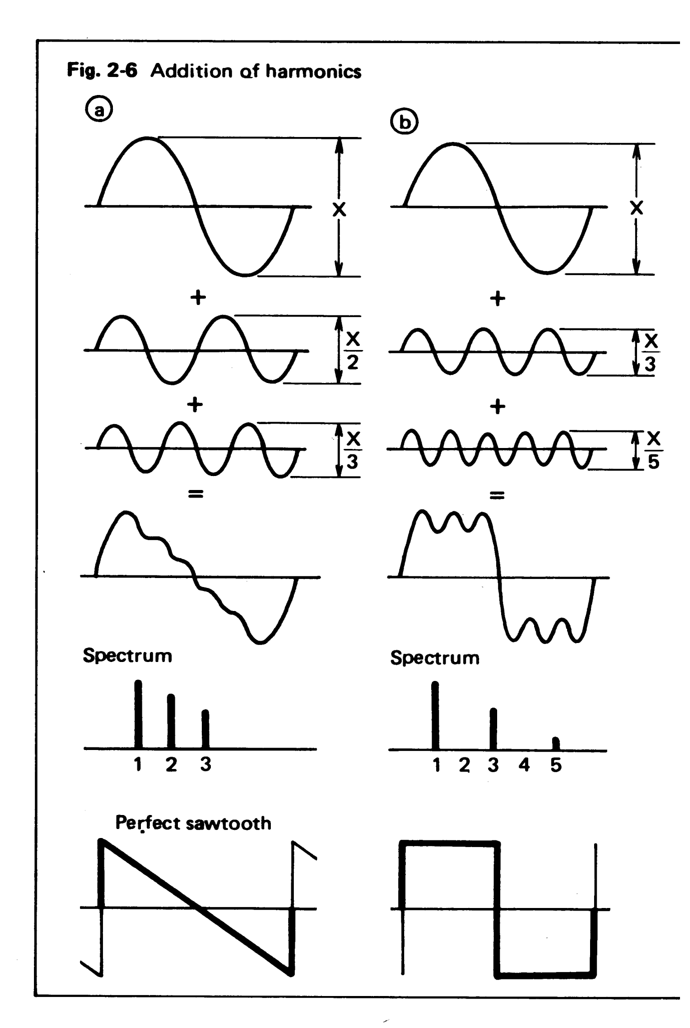


Fig. 2-6 Suma de armónicos
espectro
onda en diente de sierra perfecta

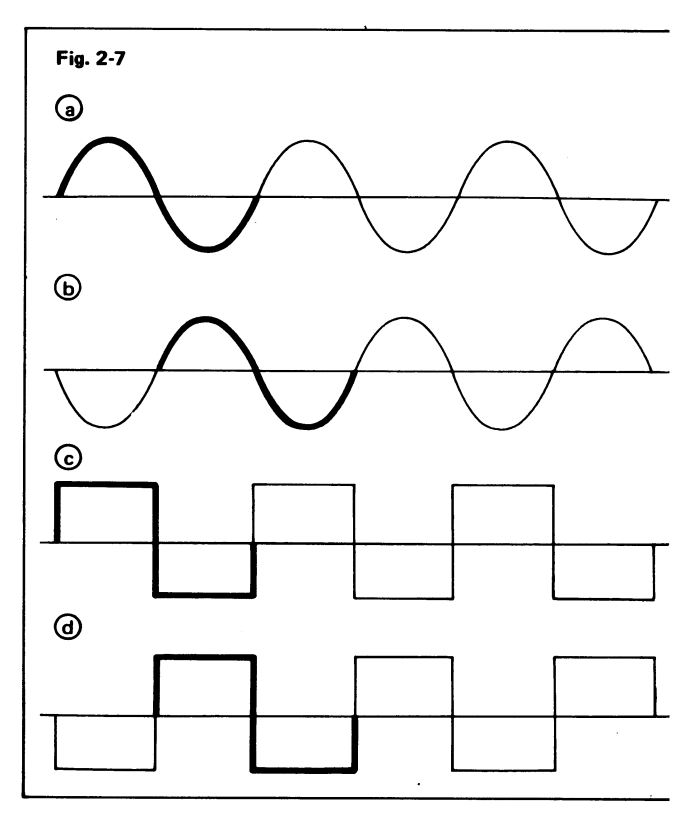


Fig. 2-7

Durante la producción de un solo tono, pueden suceder muchos fenómenos acústicos. Los más frecuentes son variaciones en intensidad (la envolvente) y variaciones en el contenido armónico del sonido. La mayoría de estos fenómenos se producen con demasiada rapidez para poderlos controlar manualmente. Aquí es donde interviene el control por tensión. Si sabemos exactamente cómo un parámetro (tal como la intensidad o el contenido armónico) reacciona a una determinada variación de tensión, entonces es bastante sencillo proporcionar variaciones controladas por tensión que producirán el efecto exacto deseado. Los sistemas que permiten una interconexión libre entre los elementos del sintetizador (paneles de interconexión) representan una ventaja para el concepto de control por tensión por la posibilidad de conectar cualquier salida con cualquier entrada, permitiedo una increible variedad de posibilidades en síntesis.

2-8 Un tipo de síntesis por eliminación

La síntesis de sonidos es un arte de por sí. Los ingredientes más impotantes para su dominio son paciencia y práctica; práctica, especialmente, en el sentido de familiarización con los controles del sintetizador y su efecto sobre el sonido de salida.

La fig. 2-9 muestra una interconexión fundamental de los tres elementos básicos del sintetizador más relacionados con los tres elementos del sonido: frecuencia, timbre e intensidad. La disposición presentada es bastante inútil ya que no hay controles (modulaciones) de entrada. Esto se añadirá en capítulos posteriores.

El **oscilador controlado por tensión o VCO** es la fuente básica de frecuencia. Un oscilador es simplemente un circuito electrónico que genera ondas eléctricas. La frecuencia de estas ondas es controlada por medio de una tensión de control. La fuente más simple de tensión para control de frecuencia sería un teclado, pero existen muchas otras fuentes.

El **filtro controlado por tensión o VCF** es el elemento básico para el control de timbre. Un filtro es un circuito electrónico que es capaz de eliminar o reforzar determinadas frecuencias o armónicos producidos por una fuente sonora. Las frecuencias o armónicos particulares sobre las que se actúa pueden ser definidas por medio de un control de tensión. Las características del filtro controlado por tensión son muy interesantes en el caso de sonidos cuyo contenido armónico varía durante la emisión el tono y para crear variaciones de timbre en aquellos sonidos que están particularmente asociados con el sintetizador.

El **amplificador controlado por tensión o VCA** es utilizado para controlar la articulación del sonido por medio de un control de tensión.

De los tres elementos del sonido, frecuencia e intensidad, generalmente, peresentan pocos problemas en la síntesis. Si deseamos sintetizar un piccolo o el pizzicato de un contrabajo es muy fácil decidir y fijar el margen correcto de frecuencias, y pulsando repetidamente la tecla mientras se ajustan los controles de intensidad podemos llegar fácilmente a la envolvente correcta para el sonido deseado. El tiembre ya es algo diferente y a menudo requiere mucha experimentación, a pesar de que se utilicen métodos de máxima lógica. Aquí es donde entran en juego práctica y paciencia. El timbre también se ve muy afectado por la frecuencia y la envolvente o la intensidad. Por estos motivos lo mejor es intentar la síntesis de un deter-

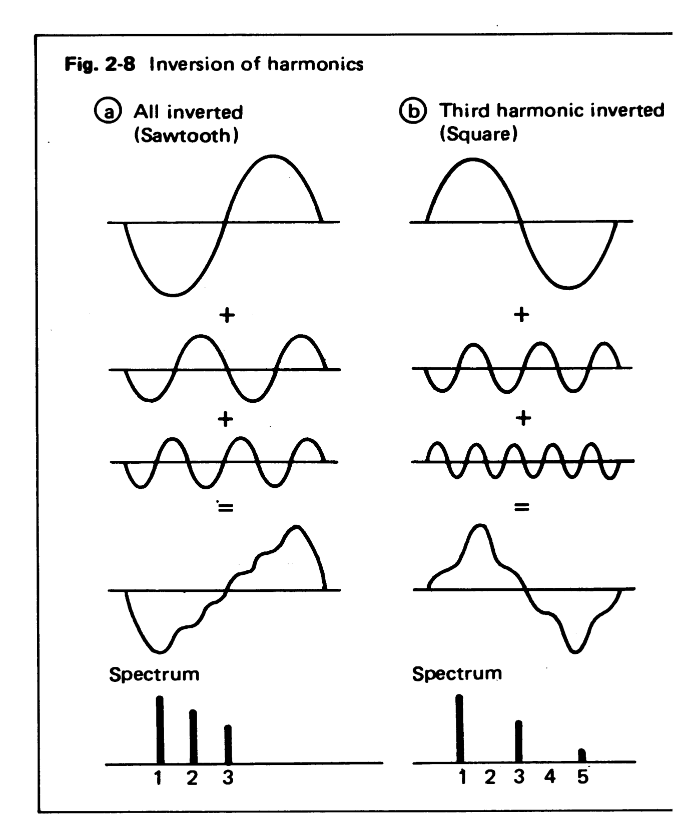


Fig. 2-8 Inversión de los armónicos
a) todos invertidos (diente de sierra)
b) tercer armónico invertido (onda cuadrada)

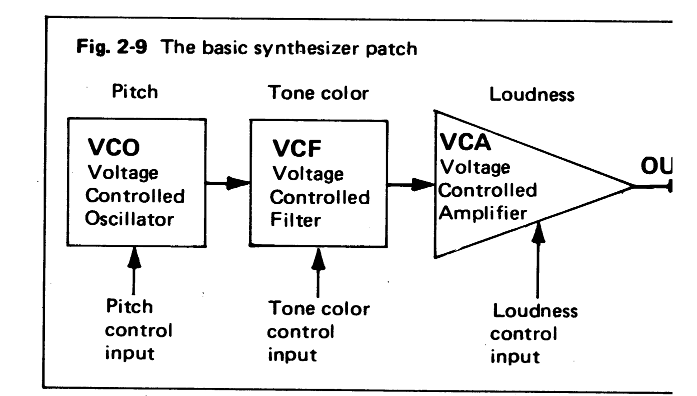


Fig. 2-9 La interconexión básica de un sintetizador
Tono
Timbre
Intensidad
VCO Oscilador Controlado por tensión
VCF Filtro Controlado por tensión
VCA Amplificador Controlado por tensión
SALIDA
Entrada de Control de tono
Entrada de Control de timbre
Entrada de Control de intensidad

minado sonido primero decidiendo y fijando el margen de frecuencias correcto y a continuación la envolvente correcta. Una vez estos factores sean más o menos correctos, es posible iniciar la experimentación con el timbre.

2 - 9 Ruido

El VCO constituye la fuente fundamental para sintetizar sonidos tonales. La mayoría de los sintetizadores también incluyen otra fuente de sonido llamada **generador de ruido** que se utiliza para la síntesis de sonidos sin tono definido. Generalmente se dispone de dos tipos de ruido: ruido blanco y ruido rosa. El **ruido blanco** es una combinación aleatoria de todas las frecuencias y produce un sonido silbante muy parecido al que se puede oir cuando un receptor FM se sitúa entre dos estaciones. El **ruido rosa** contiene menos altas frecuencias y produce un sonido similar al de una cascada. El ruido se estudia con más detalle en el capítulo 5 (pág.   ). La fig. 2-10 muestra la onda correspondiente a un ruido.

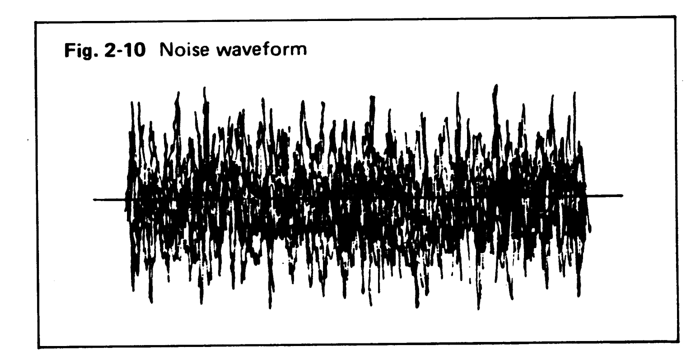


Fig. 2-10 Ruido

2 - 10 Música con ordenador

El ordenador se ha convertido en un elemento cada vez más común en la producción de música electrónica. Muchos de los primeros experimentos musicales con ordenadores tenían como objetivo que los ordenadores "compusieran" música, por ello el término música con ordenadores a menudo ha sido objeto de malentendidos, lo que ahora ya no es tan frecuente.

El uso de ordenadores en música se puede subdividir en dos grupos fundamentales:

1. El uso de ordenadores para controlar completa o parcialmente un sintetizador.

2. La síntesis directa en la que un ordenador se utiliza para generar cualquier tipo de onda.

Antes de hablar sobre estas dos posibilidades sería intersante estudiar por qué los músicos quisieran utilizar un ordenador en música.

En el mejor de los casos una partitura sólo es una pobre representación de los sonidos musicales que pretende utilizar el compositor/armonizador y por lo tanto tienen que ser traducidos o interpretados. La fig. 2-11 ilustra este proceso.

Normalmente el director interpreta la partitura. En este pasaje las trompas suenan con más fuerza que los otros instrumentos y aquí la música debiera reducir su tempo con estas notas algo más sostenidas que las otras notas, y así sucesivamente. Durante la propia interpretación el director sólo puede utilizar movimientos corporales para recordar a los músicos lo que desea que hagan. Incluso en las mejores orquestas y conjuntos se producirán algunas pérdidas, a medida que la música es filtrada por cada músico a su instrumento y, finalmente, es emitida en forma de sonido. Utilizando un ordenador el compositor/armonizador puede transformar la música en sonido sin la necesidad de filtrado a través de un grupo de gente.

Es una cosa muy sencilla traducir una partitura directamente en datos de ordenador para la producción de sonido, pero el resultado tendría una sonoridad muy mecánica. El resultado sería similar al de un director que dirigiera la partitura sin intentar interpretarla de alguna manera, exceptuando que el ordenador sería más exacto en el tempo. Por lo tanto es muy im-

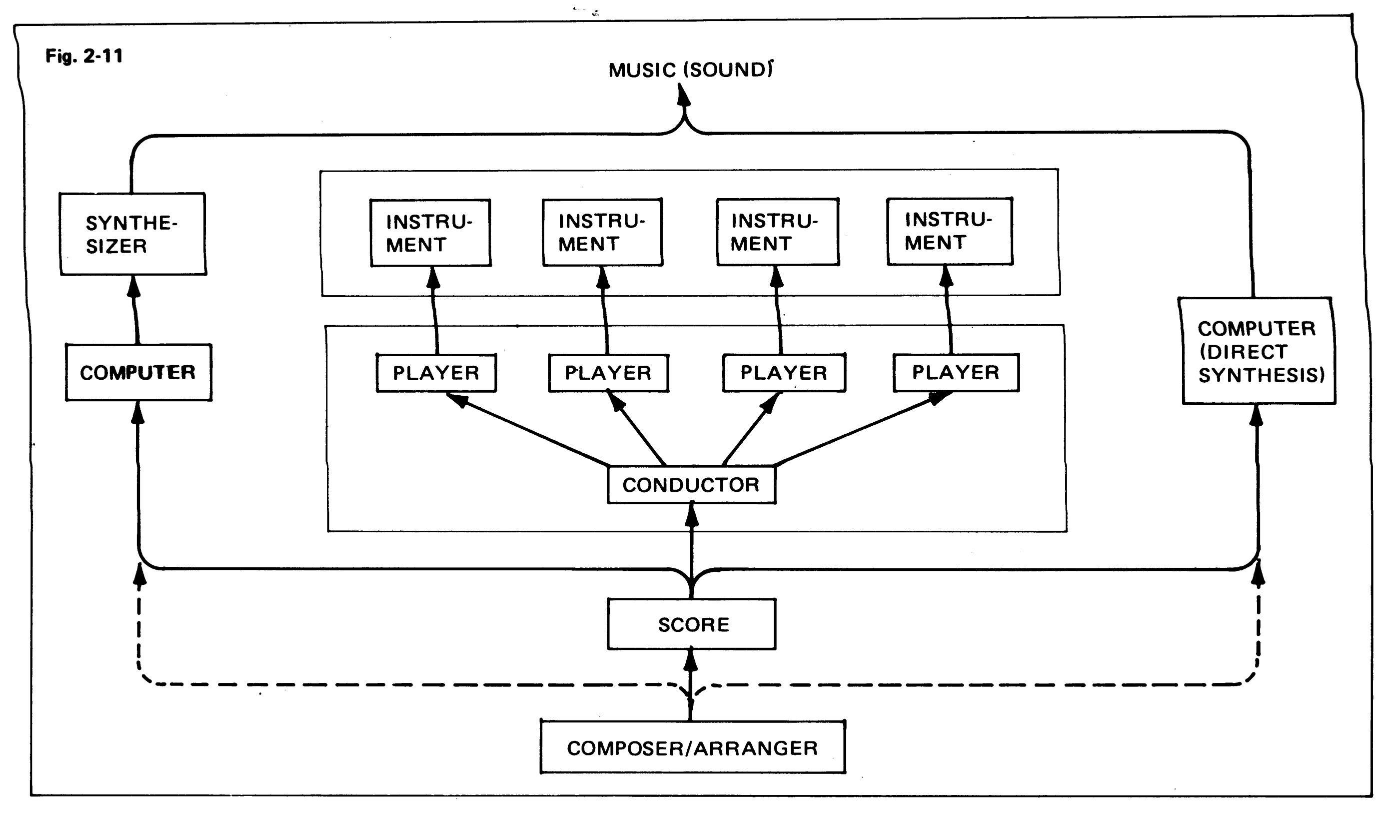


Fig. 2-11

Música (sonido)
Sintetizador
Ordenador
instrumento
músico
director
partitura
compositor/armonizador
ordenador (síntesis directa)

portante que el músico que utiliza el ordenador sea consciente que para interpretar música debe incorporar estas instrucciones en el progrma del ordenador.

Volviendo a las dos categorías de utilización de los ordenadores, en la primera categoría un ordenador es programado con números que representan los niveles de tensión y el tiempo de los pulsos deseados por el músico para el control de un sintetizador ordinario controlado por tensión. Es decir, el ordenador sustituye al teclado o a otros controles utilizados con el sintetizador.

La mayor parte de la música electrónica se graba cada línea melódica independientemente, por ello resulta muy difícil juzgar cómo las diferentes líneas sonarán cuando se mezclen entre sí. El resultado a menudo es inaceptabe y algunas o todas las líneas han de volver a ser grabadas. Los ordenadores ofrecen una gran ventaja en este campo ya que pueden ser programados para dar control simultáneo a varias líneas melódicas permitiendo así al músico oir cómo sonará la combinación.

Dentro de la categoría de sintetizadores controlados por ordenador hay dos puntos de vista. El primero es utilizar un sistema ordenador corriente en el que se tendría que escribir e implementar un programa especial "música". Esto requiere un profundo conocimiento de la programación de ordenador y así se convierte en uno de los obstáculos más importantes de este proceso. El otro inconveniente importante es que sería necesario diseñar y construir a medida unidades conversoras con el fin de convertir las salidas de ordenador en controles por tensión y crear pulsos que el sintetizaor pueda usar. Si un músico no está lo suficiente interesado en aprender esto, tendrá suerte si puede ser auxilado por un experto en ordenadores. Los modelos más grandes de ordenadores domésticos son capaces de tratar un programa bastante sofisticado de música que permitirá un fácil acceso a un músico. Los sistemas más pequeños también son capaces de trabajar con programas de

música, pero estarán limitados por lo que respecta a sus posibilidades y requeriría probablemente un procedimiento bastante especializado de decodificación musical.
El segundo punto de vista con respecto a sintetizadores controlados por ordenador sería utilizar un ordenador especializado que ha sido diseñado con el único fin de controlar un sintetizador. El Micro-Compositor Roland MC-8 es el primer ejemplo de este tipo de ordenador aparecido en el mercado. Utiliza un sistema decodificador muy sencillo que fue desarrollado por primera vez por el compositor Ralph Dyck para su utilización con un secuenciador digital programable que construyó para su estudio comercial en Vancouver, Canadá.
La diferencia fundamental entre el Micro-Compositor y el secuenciador digital, programable o de otro tipo, es que el Micro-Compositor está diseñado alrededor de un circuito integrado llamado **microprocesador** o **CPU (Unidad Central de Proceso)**. El microprocesador es el responsable de la versatilidad del Micro-Compositor. Como el Micro-Compositor se concibió pensando en el músico, no exige conocimiento de ordenadores ni de su programación. Proporciona control para un máximo de ocho líneas melódicas además de seis voces percusivas, todas independientes entre sí. Su funcionamiento es muy parecido a una calculadora electrónica de sobremesa, y gracias a la utilización del microprocesador, el Micro-Compositor proporciona un gran número de funciones operativas que dan al músico una cantidad de controles sin precedentes sobre la música que se produce. Para obtener una cantidad similar de control en un ordenador de tipo doméstico se requeriría un sistema bastante potente y unas técnicas de programación bastante sofisticadas.

2 - 11 Síntesis directa

Dentro de la segunda categoría de ordenadores utilizados en música, una serie de números que representan los valores instantáneos de los niveles de tensión en diferentes puntos de una onda son almacenados en la memoria del ordenador y son llamados a medida que se necesitan para producir sonido. Esto se define como **síntesis directa.**

Es más fácil entender la síntesis directa demostrando primero cómo se puede analizar una onda y cómo puede ser almacenada en un ordenador en forma de datos. Esto se logra haciendo un muestreo de la onda sonora a intervalos regulares y próximos. Cada muestra representa un nivel instantáneo de tensión de la onda sonora en el instante del muestreo. Cada uno de estos valores de tensión es convertido en un número que a continuación es almacenado en el espacio correspondiente en la memoria. Todo ello se muestra en la fig. 2-12 (a).

Para recuperar la onda sonora, el ordenador lee los datos almacenados en la memoria de la misma manera que una persona hace correr los dedos a lo largo de una columna de cifras. A medida que se va leyendo cada número, éste se transforma en su correspondiente nivel de tensión. Cada nivel de tensión se retiene hasta que se obtiene el siguiente. El resultado final es una onda sonora cuadriculada, sólo tiene horizontales y verticales, ni rampas ni curvas. Se utiliza un filtro para corregir estas angulosidades. El proceso se muestra en la fig. 2-12 (b).

Ante todo se puede observar que la velocidad de muestreo debiera ser bastante rápida con relación a la frecuencia de la onda sonora. Cuantas más muestras se obtengan, mayor será la fidelidad de reproducción de la onda sonora. Todo ordenador tiene un límite en la velocidad de muestreo que es capaz de procesar.

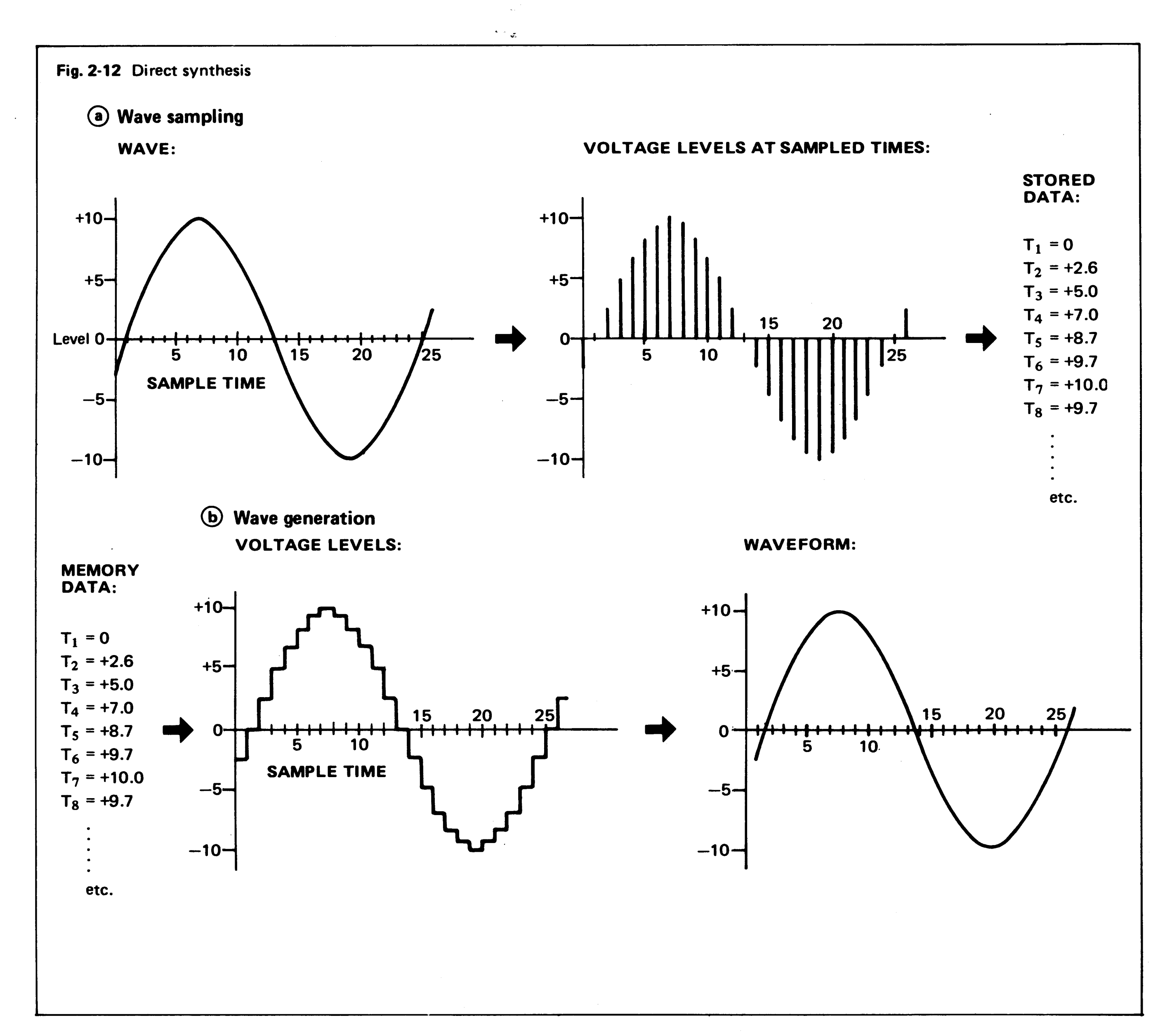


Fig. 2-12 Síntesis directa
a) muestreo de onda
onda
nivel
tiempo de muestreo
niveles de tensión en los tiempos de muestreo
datos almacenados
datos de memoria
b) generación de onda
niveles de tensión
onda

Además existirá un límite por lo que respecta a los números disponibles para representar niveles de tensión. Así en el ejemplo de la fig. 2-12 si un ordenador no puede procesar los decimales los datos de la onda sinusoidal se redondearán y quedarán representados por:

T_1	= 0	T_6	= 10
T_2	= 3	T_7	= 10
T_3	= 5	T_8	= 10
T_4	= 7	T_9	= 9
T_5	= 9	T_{10}	= 7
		etc...	

Por lo tanto se parecerá menos a la onda sinusoidal original, que en el ejemplo inicial tal como se representa en la fig. 2-13.

Ya que los números representando las ondas se almacenan en la memoria del ordenador, es muy sencillo modificar la onda modificando los números. De ello se deduce que es posible inventar cualquier tipo de onda y convertirla en datos para alimentar la memoria. Esto es síntesis directa, síntesis que puede imitar con exactitud cualquier sonido o puede crear sonidos completamente nuevos.

El mayor inconveniente en la síntesis directa reside en el hecho que se precisa un sistema ordenador muy potente y por lo tanto su adquisición queda limitada a grandes instituciones. También requiere un profundo conocimiento de ordenadores y su programación, incluyendo matemáticas avanzadas.

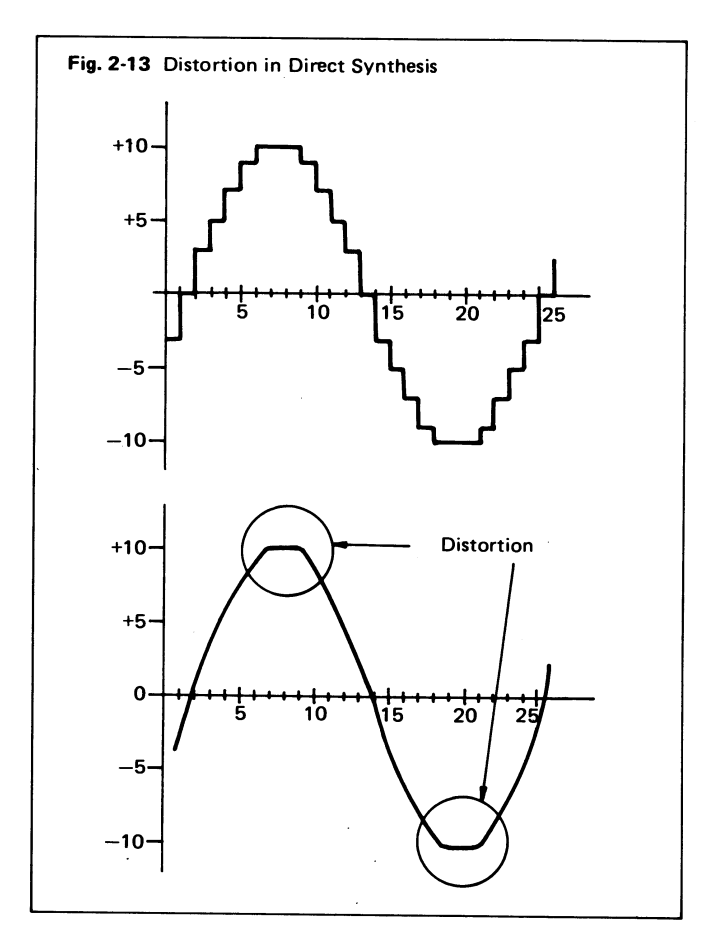


Fig. 2-13 Distorsión en síntesis directa
Distorsión

2 - 12 Cuestionario

1. Nombre algunas de las formas que puede tomar la música electrónica.
2. Dibuje una onda sinusoidal. Explique este dibujo en términos de variaciones de presión de aire. En términos de variación de corriente eléctrica.
3. Explique la síntesis por adición y por eliminación. ¿Cuál es la más común? ¿Por qué?
4. ¿Cuáles son las dos ondas más utilizadas en la síntesis por eliminación? ¿Por qué son adecuadas para la síntesis por eliminación? Dé el espectro armónico de cada uno de ellas.
5. ¿Qué efecto se obtiene sobre el timbre al invertir una onda? ¿Qué efecto se obtiene al invertir alguno de los armónicos de un sonido sobre la forma de la onda? ¿Y sobre el timbre?
6. ¿Cuál es la ventaja del control por tensión en un sintetizador?
7. ¿En qué difieren un sintetizador para interpretaciones en vivo y un sintetizador tipo estudio de gran tamaño? ¿En qué se parecen?
8. ¿Cuáles son los tres elementos del sonido y cuáles son los elementos del sintetizador más asociados con cada uno de ellos?
9. Generalmente ¿en qué orden se deben trabajar los tres elementos del sonido cuando se sintetiza un sonido? ¿Y por qué?
10. ¿Cuáles son las dos categorías de utilización de los ordenadores en música electrónica?

Palabras a definir

amplificador controlado por tensión
espectro
fase
filtro
generador de ruido
modulación
música con ordenador
música concreta
música electrónica
onda
onda cuadrada
onda en forma de diente de sierra
onda sinusoidal
oscilador
oscilador controlado por tensión
ruido
ruido blanco
ruido rosa
síntesis
síntesis directa
síntesis por adición
síntesis por eliminación
sintetizador controlado por tensión
VCA
VCF
VCO

CAPITULO 3
TONOS

3 - 1 Introducción

El primer elemento del sonido que vamos a tratar con detalle es el tono. Tono es aquel elemento del sonido por el cual algunos sonidos parecen más agudos o más graves que otros. En el sintetizador controlado por tensión la fuente más importante de tonos es el oscilador controlado por tensión o VCO.

Para el VCO una de las fuentes más comunes de tensión de control es el teclado. El teclado no es más que un divisor de tensión; el nivel de tensión de salida depende de la tecla que se pulsa. Si se aplica la tensión de control a un VCO convenientemente calibrado, éste generará un tono que estará directamente relacionado con la tecla pulsada.

Con el fin de comprender mejor la relación entre la frecuencia de salida del VCO y la tensión de entrada es necesario repasar la construcción de nuestro sistema de escalas musicales.

3 - 2 Las relaciones tonales en música

En música, en lugar de utilizar frecuencias, los tonos reciben nombres de letras o sílabas e incluso algunas veces cifras.



Cuando suenan simultáneamente más de una nota, el conjunto se denomina acorde (1). El resultado decimos que es armonía. Diferentes acordes producen armonías que para nuestros oídos tienen características diferentes.

La distancia entre dos tonos se denomina **intérvalo.** El intérvalo puede ser consonante o disonante. Un intérvalo **consonante** es un intérvalo que para nuestros oídos parece ser armónico o es confortable. Un intérvalo **disonante** es un intérvalo que parece discordante a nuestros oídos y no es armónicamente cómodo.

Es posible interpretar una serie de intérvalos y tener un grupo de gente que juzguen cómo han de ordenarse, de forma que cuando se interpreten se muevan gradualmente de consonante a disonante. La situación de esta línea divisoria ha variado con los años de forma que los acordes que ahora consideramos consonantes se hubieran considerado disonantes en épocas anteriores de la música.

El intérvalo que en la audición causa la disonancia mínima es el unísono: dos tonos de frecuencias exactamente iguales. El siguiente intérvalo más agradable es la octava. En la octava la frecuencia del tono superior es exactamente doble del tono inferior. La mayor parte de las escalas musicales se basan en la relación de octava. Por ejemplo, los árabes utilizan una octava dividida en dieciseis partes iguales, y los indios dividen la octava en veintidós partes, pero sólo utilizan siete notas.

El sistema musical occidental generalmente divide la octava en doce partes. En los inicios de la música estas divisiones eran afinadas de acuerdo a la **escala natural**. Aunque las doce divi-

Fig. 3-1 Frequency ratios for scale of just intonation

ⓐ

Interval	Frequency ratio from starting point		Cents* from start point
Unison	1:1	1:1	0
Semitone	16:15	1.066667:1	111.731
Minor tone	10:9	1.111111:1	182.404
Major tone	9:8	1.125:1	203.910
Minor third	6:5	1.2:1	315.641
Major third	5:4	1.25:1	386.314
Perfect fourth	4:3	1.333333:1	498.045
Augmented fourth	45:32	1.40625:1	590.224
Diminished fifth	64:45	1.422222:1	609.777
Perfect fifth	3:2	1.5:1	701.955
Minor sixth	8:5	1.6:1	813.687
Major sixth	5:3	1.666667:1	884.359
Harmonic minor seventh	7:4	1.75:1	968.826
Grave minor seventh	16:9	1.777778:1	996.091
Minor seventh	9:5	1.8:1	1,017.597
Major seventh	15:8	1.875:1	1,088.269
Octave	2:1	2:1	1,200.000

*(See p. 32)

ⓑ Intervals in order from consonance to dissonance

Interval:	Unison	Octave	Perfect fifth	Major sixth	Major third	Perfect fourth	Minor third	Minor sixth
Frequency ratio:	1:1	2:1	3:2	5:3	5:4	4:3	6:5	8:5

Fig. 3-1 Relación de frecuencias para la escala natural

a) Intérvalo /Relación de frecuencias desde el punto de partida/Centésimas desde el punto de partida
Unísono
primera aumentada
segunda menor
segunda mayor
tercera menor
tercera mayor
cuarta justa
cuarta aumentada
quinta disminuida
quinta justa
sexta menor
sexta mayor
sexta aumentada
séptima disminuida
séptima menor
séptima mayor
octava
(x) (Véase pag. 33)

b) Intérvalos ordenados de consonante a disonante
Intervalo
unísono
octava
quinta justa
sexta mayor
tercera mayor
cuarta justa
tercera menor
sexta menor
Relación de frecuencias:

siones no son iguales, las frecuencias de estas notas tenían relaciones muy sencillas entre sí. Por ejemplo una quinta perfecta presenta la relación 3:2. Es decir si la nota superior tiene 300 Hz, la nota inferior tendrá 200 Hz; la fig. 3-1 presenta las relaciones de frecuencia de los intérvalos de la escala natural. Debe observarse que la consonancia o disonancia de un intérvalo está muy vinculada con la relación de frecuencias del intérvalo. Cuánto más pequeños sean los números utilizados para expresar una relación tanto más consonante el intérvalo.

La escala natural produce una armonía que es agradable al oído debido a estas relaciones interválicas, pero presenta unos graves inconvenientes para los instrumentos que utilizan sistemas de afinación fija, tales como el teclado del piano y del órgano y los trastes de la guitarra Este tipo de instrumentos no puede variar su escala sonora sin antes volver a afinar el instrumento.

La imposibilidad de la libre modulación fue uno de los motivos que impulsó al desarrollo de lo que se llama la escala **temperada**. En esta escala la octava se divide en doce partes **iguales**. La relación entre las frecuencias de dos notas adyacentes (semitonos) es exactamente la misma. Con tonos a intérvalos iguales resulta obvio que los intérvalos de una escala mantienen la misma relación independientemente de la nota inicial. La relación de frecuencia de la sexta mayor será exactamente la misma independientemente del tono de partida. Las divisiones desiguales de la escala natural formarán intérvalos correctos sólo si se utilizan ciertos tonos como punto de partida.

La fig. 3-2 muestra las relaciones de frecuencia para la escala temperada. En la fig. 3-3 se comparan las frecuencias entre los dos sistemas de escalas utilizando una octava, empezando en el do central. Si asignamos al do central la frecuencia de 264 Hz (valor frecuentemente utilizado en los laboratorios científicos), entonces las frecuencias de los dos sistemas serán tal cual se indica. Obsérvese que al expresar las frecuencias de la escala natural los números necesitan menos decimales.

(1) Algunos especialistas preferirán definir el acorde teniendo por lo menos tres tonos distintos, pero ésto no tiene importancia en este estudio.

3-3 Frecuencias de batido

Aunque la música occidental utiliza particularmente la escala temperada, la escala natural no está obsoleta. El violín, por ejemplo, no tiene trastes y por lo tanto puede tocar intérvalos de cualquier relación de frecuencias. La mayoría de buenos violinistas tienen la tendencia de tocar en intérvalos naturales independientemente de la escala en que estén tocando, incluso si están tocando conjuntamente con instrumentos temperados *inflexibles*.

El motivo de ello es la interacción que se produce cuando dos tonos muy cercanos se tocan simultáneamente. Esta interacción toma la forma de una modulación en la intensidad del sonido conjunto y se denomina batido. La fig. 3-4 ilustra este fenómeno: Para simplificar, se muestran conjuntamente una onda de 6 Hz y otra de 5 Hz, en lugar de frecuencias audibles. La onda (c) representa la suma algebraica de las ondas (a) y (b). Las variaciones en intensidad se observan perfectamente en (c) donde el sonido empieza con una intensidad máxima, desciende a un mínimo en el centro y se vuelve a amplificar a una intensidad máxima al final del período mostrado. Es decir, la frecuencia de las variaciones de intensidad es un ciclo por segundo, o 1 Hz. Obsérvese que 6 Hz – 5 Hz = 1 Hz. Para casos muy cercanos al unísono la frecuencia de batido será la diferencia entre los dos tonos.

Otros intérvalos también producirán batidos cuando estén

Fig. 3-2 Frequency ratios for equally tempered scale

Interval	Frequency ratio from starting point	Cents* from starting point
Unison	1:1	0
Semitone or minor second	1.059463:1	100
Whole tone or major second	1.122462:1	200
Minor third	1.189207:1	300
Major third	1.259921:1	400
Perfect fourth	1.334840:1	500
Augmented fourth / Diminished fifth	1.414214:1	600
Perfect fifth	1.498307:1	700
Minor sixth	1.587401:1	800
Major sixth	1.681793:1	900
Minor seventh	1.781797:1	1,000
Major seventh	1.887749:1	1,100
Octave	2:1	1,200

*(See p. 32)

Fig. 3-2 Relación de frecuencias para la escala temperada
Intervalo/Relación de frecuencias desde el punto de partida/Centésimas desde el punto de partida
Unísono
Semitono o segunda menor
Tono o segunda mayor
Tercera menor
Tercera mayor
Cuarta justa
Cuarta aumentada o quinta disminuida
Quinta justa
sexta menor
sexta mayor
séptima menor
séptima mayor
octava
(x) (Véase pag. 33)

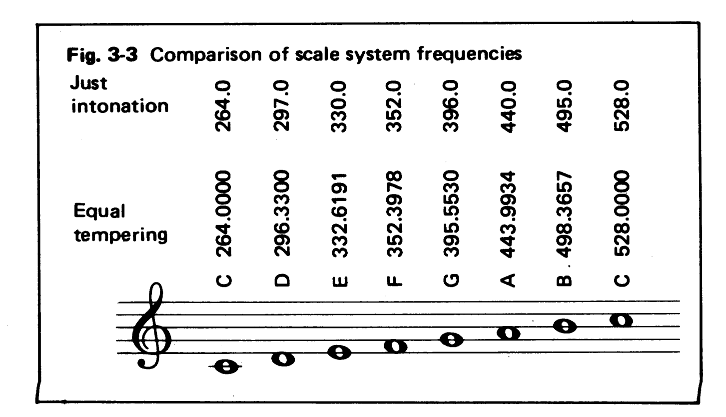


Fig. 3-3 Comparación entre las frecuencias de los dos sistemas de escalas
Natural
Temperada

desafinados. La facilidad con la que se podrán percibir estos batidos dependerá de la consonancia o disonancia del intérvalo; cuanto más consonante, más fácil es de percibir:

Así por ejemplo, si empezamos con un tono de 440 Hz, una quinta perfecta tendría 660 Hz, ya que la relación de frecuencias de una quinta es 3:2 (3/2 = 660/440). Si la frecuencia superior es de 663 Hz, entonces aparecerá una frecuencia de batido de 3 Hz porque la frecuencia superior es 3 Hz más elevada que la correcta de 660 Hz.

En una escala temperada la frecuencia de una quinta perfecta sobre 440 Hz, es 659,26 Hz (véase la gráfica frente a la pág. 66). El resultado es que cuando se toca una quinta temperada oiremos un batido de 0,74 Hz (660 – 659,26 = 0,74). Un buen violinista tendría la tendencia de ajustar su tono para eliminar esta batido cuando toca conjuntamente con otros instrumentos.

Los instrumentos musicales generalmente se afinan utilizando frecuencias de batido. El instrumento que se afina primero se ajusta de tal forma que da un tono muy aproximado al unísono (u otro intérvalo, si se desea) con una referencia tal como otro instrumento, un diapasón o un oscilador de prueba. A continuación el instrumento se toca simultáneamente con el tono de prueba y se afina con precisión para eliminar el batido.

La presencia de intérvalos que producen batidos en la escala temperada es un punto de referencia muy importante cuando se trabaja con música electrónica. Muchos sonidos en música electrónica a menudo tienen un caracter tal que permite percibir con mayor facilidad estos batidos que si se tratara de música interpretada con instrumentos acústicos; por lo tanto es preciso compensar esto ocultando estos batidos dentro de la textura musical total, o empleando otros medios para corregir los tonos ofensivos.

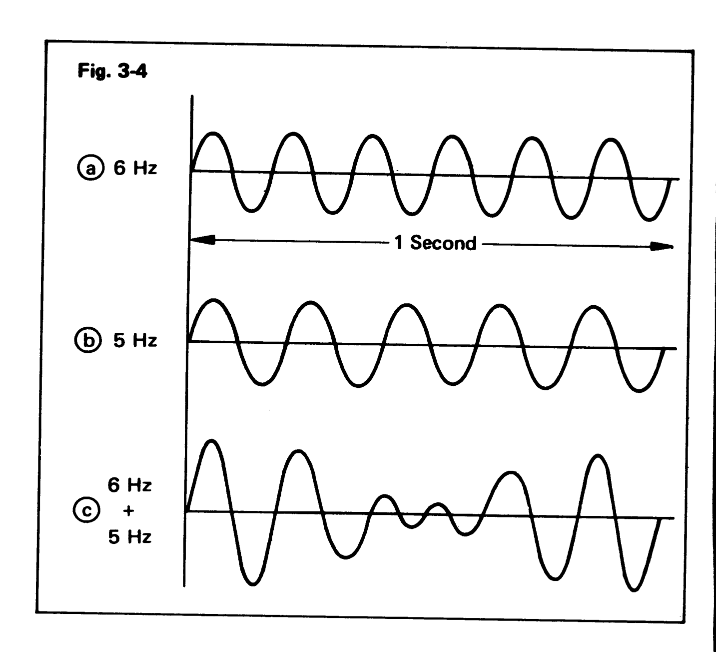


Fig. 3-4

1 Segundo

3 - 4 La serie armónica natural

En el Capítulo 1 se mostró como la mayoría de los sistemas vibratorios tienen la tendencia a ser bastante complejos, vibrando simultáneamente a diferentes frecuencias. Estas frecuencias se denominan **sobretonos**. En la mayoría de los sistemas, estos sobretonos tienden a tener relaciones matemáticas definidas de forma que los sobretonos agudos son todos múltiplos del más grave o fundamental. Los sobretonos de este tipo son llamados armónicos.

Si diseñamos un tubo abierto o un monocordio que produce un fundamental con el tono la_2 (espacio inferior de la clave de fa) y si utilizamos el sistema de notación musical para presentar los tonos de los posibles armónicos, el resultado hasta el decimosexto armónico sería tal como se muestra en la fig. 3-5. En esta figura se comparan las frecuencias reales de los armónicos con las frecuencias de las notas equivalentes tanto en la escala natural como en la temperada. Obsérvese que las frecuencias de los armónicos presentados como corcheas no se ajustan con ninguna de las escalas. Y obsérvese que exceptuando estas corcheas, los tonos en la escala natural coinciden con los armónicos. Y finalmente obsérvese que en la escala temperada sólo las octavas del fundamental (todos los **la** en este caso) coinciden con los armónicos. Esta serie de tonos se denomina serie armónica natural.

3 - 5 Consonancia y disonancia

Con los conocimientos anteriores es más fácil entender la con-

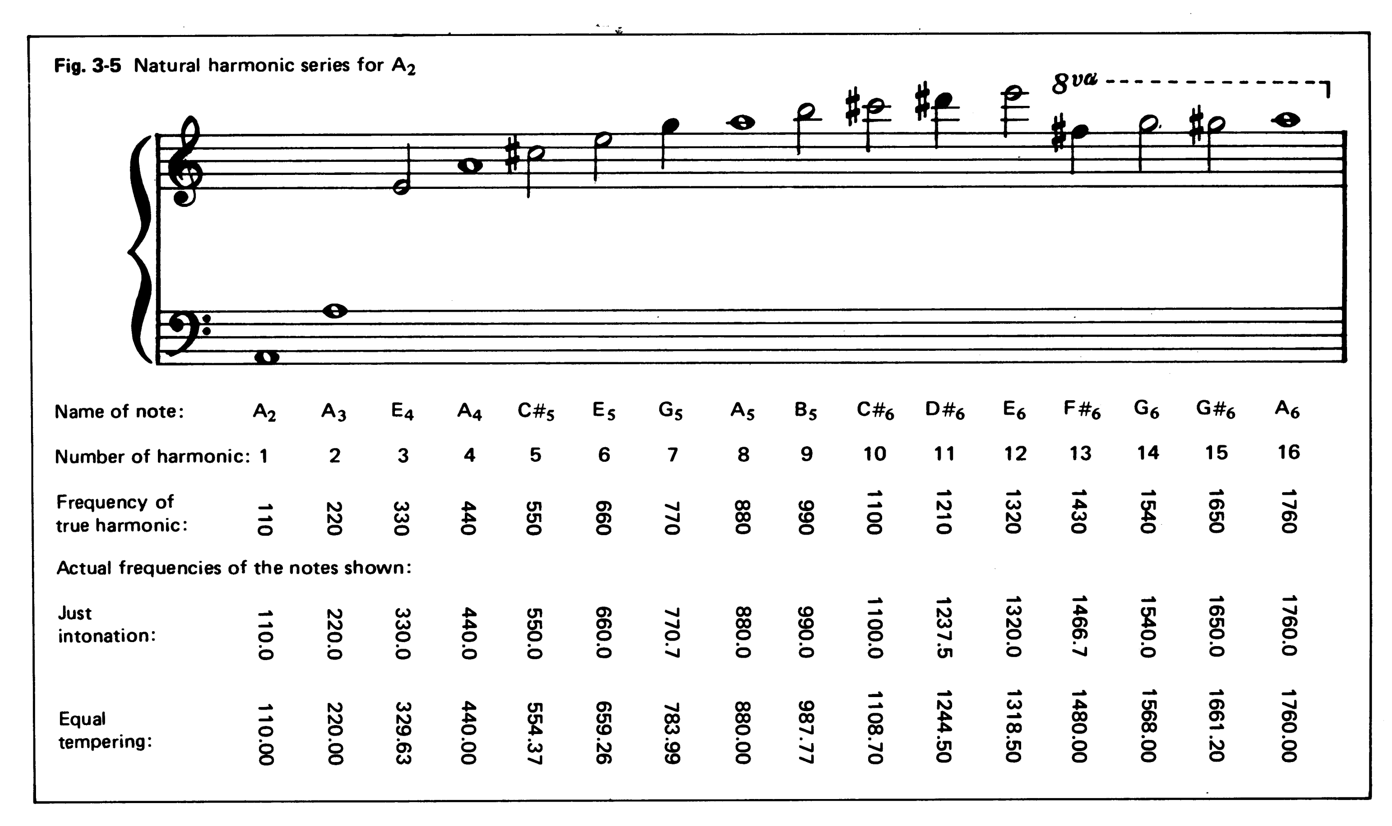


Fig. 3-5 Natural harmonic series for A_2

Name of note:	A_2	A_3	E_4	A_4	$C\#_5$	E_5	G_5	A_5	B_5	$C\#_6$	$D\#_6$	E_6	$F\#_6$	G_6	$G\#_6$	A_6
Number of harmonic:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Frequency of true harmonic:	110	220	330	440	550	660	770	880	990	1100	1210	1320	1430	1540	1650	1760
Actual frequencies of the notes shown:																
Just intonation:	110.0	220.0	330.0	440.0	550.0	660.0	770.7	880.0	990.0	1100.0	1237.5	1320.0	1466.7	1540.0	1650.0	1760.0
Equal tempering:	110.00	220.00	329.63	440.00	554.37	659.26	783.99	880.00	987.77	1108.70	1244.50	1318.50	1480.00	1568.00	1661.20	1760.00

Fig. 3-5 Serie armónica natural para el la_2
Nombre de la nota: la_2 la_3 mi_4 la_4 $do\#_5$ mi_5 sol_5 la_5 si_5 $do\#_6$ $re\#_6$ mi_6 $fa\#_6$ sol_6 $sol\#_6$ la_6
Número de armónico
Frecuencia del armónico real
Frecuencias reales de las notas indicadas
Natural
Temperada

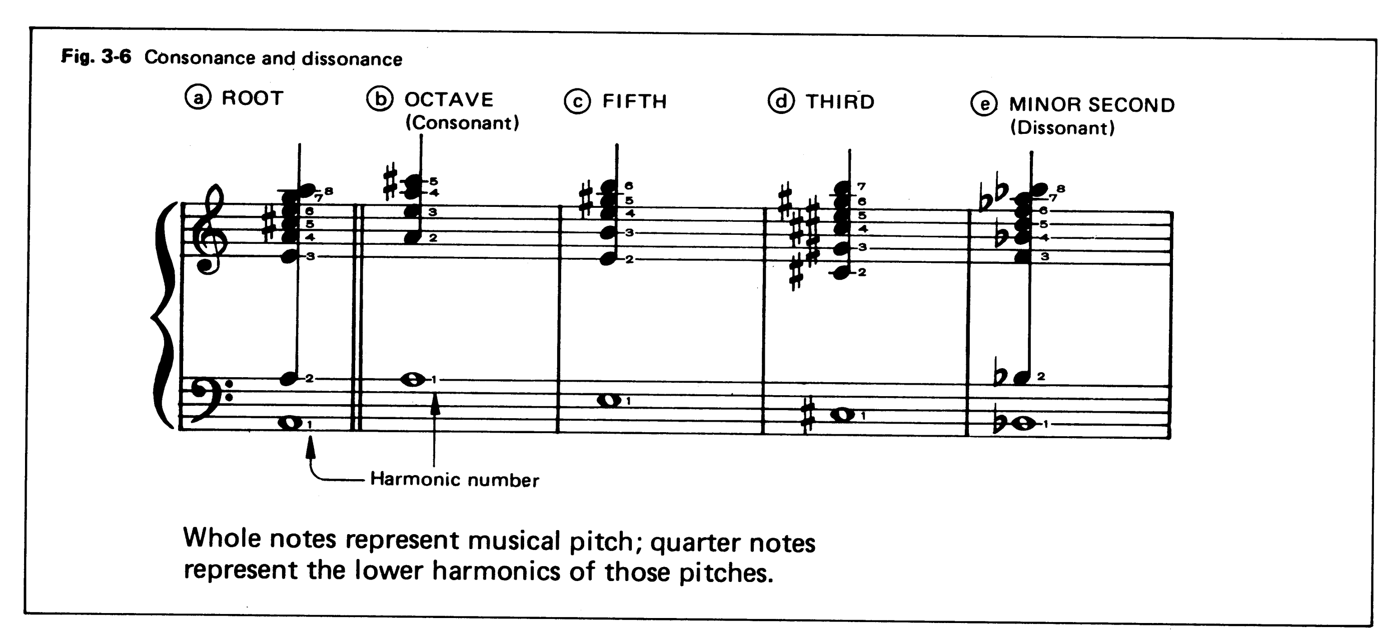
sonancia y disonancia en los intervalos musicales. En la fig. 3-6 se muestran unos tonos con algunos de sus armónicos escritos encima de ellos. El tono en (b) se presenta una octava por encima de la raíz en (a). Obsérvese que si estos dos tonos suenan simultáneamente la mayoría de los armónicos en (a) tienden a reforzar los primeros armónicos en (b).,Obsérvese que en (c), que presenta una quinta perfecta por encima de la raíz, hay menos armónicos comunes. En la fuerte disonancia de la segunda menor mostrada en (e), ninguno de los armónicos son comunes. Obsérvese también que (a), (b), (c) y (d) forman una triada mayor y cuando suenan simultáneamente muchos de los armónicos son comunes.

3-6 Tono base

Generalmente se parte del **la** por encima del **do** medio para designar las frecuencias de los tonos en música. La frecuencia de este **la** ha cambiado a lo largo de los años pero hoy la mayoría de los países utilizan el **la** = 440 Hz. A lo largo de la historia esta frecuencia ha variado desde unos 373 Hz hasta unos 462 Hz. Por ejemplo el **la** en la época de Haendel era 426,6 Hz.

3-7 Progresiones exponenciales

La relación entre el tono y la frecuencia es importante, especialmente bajo el punto de vista de música electrónica. Si partimos de la nota más grave del piano y tocamos una escala cromática hasta llegar a la región aguda del teclado, para nuestros oídos sonará como si todas las notas se movieran hacia el agudo a pasos iguales. Por ejemplo la distancia entre el **do** y el **re** en la parte grave del teclado y en la parte aguda del teclado sonará igual ya que la relación entre sus frecuencias es igual. Sin embargo las propias frecuencias son muy diferentes. La diferencia entre el **do** y el **re** más graves es de 4 Hz. La diferencia entre el **do** y el **re** más agudos es de unos 256 Hz.



Si empezamos por la parte grave del piano y tocamos los **la** en sentido ascendente la distancia entre cada par de **la** musicalmente es la misma (una octava), pero la frecuencia se dobla con cada **la**. Este tipo de progresión se denomina **progresión exponencial.**

Cuando medimos cosas normalmente utilizamos una **escala lineal** en la que todas las divisiones tienen espacios iguales. Las divisiones de nuestras reglas tienen espacios iguales. Un centímetro en uno de los extremos tiene exactamente la misma longitud que un centímetro en el otro extremo. El círculo tiene 360 grados iguales. Un día tiene 24 horas iguales.

En ciertas ocasiones es más conveniente y práctico trabajar con una escala exponencial. La regla de cálculo es un buen ejemplo. Las divisiones de la mayoría de sus escalas tienen espacios desiguales; una medida de una unidad tiene una mayor longitud en el extremo izquierdo que en el extremo derecho.

Moviéndose de izquierda a derecha, las longitudes para una unidad se hacen cada vez menores.

La fig. 3-7 muestra una comparación entre una escala lineal y una escala exponencial. Las divisiones superiores representan intérvalos de octava. Debajo se representan las frecuencias cuya escala resulta ser exponencial, una escala en la que las divisiones son progresivamente más pequeñas hacia la derecha. La mayoría de los gráficos que tratan de sonido usan una escala exponencial para representar las frecuencias aunque para nuestros oídos suena "lineal".

Fig. 3-6 Consonancia y disonancia
a) RAIZ
b) OCTAVA (consonante)
c) QUINTA
d) TERCERA
e) SEGUNDA MENOR (disonante)
número armónico
las blancas indican el tono; las negras representan los armónicos inferiores de estas notas

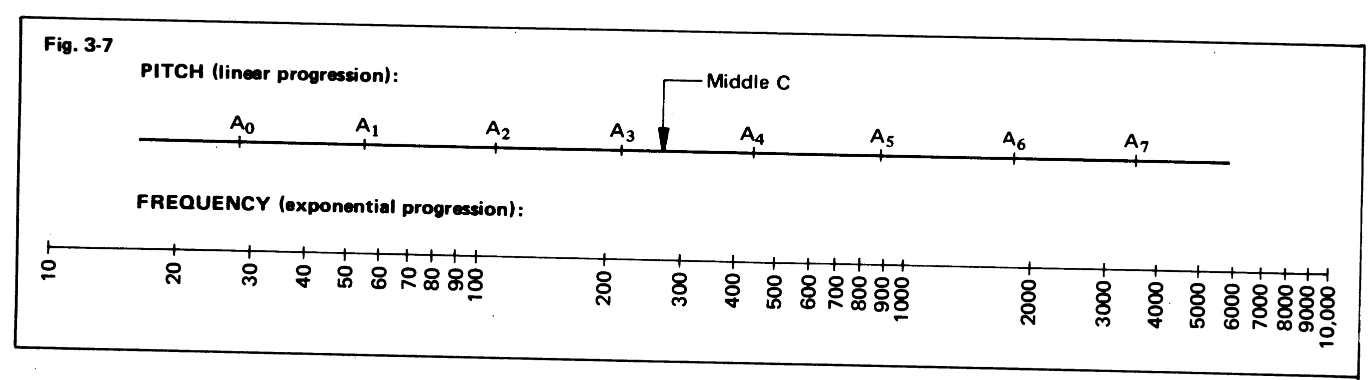


Fig. 3-7 TONOS (progresión lineal) do central
FRECUENCIA (progresión exponencial)

3·8 Centésimas

Según lo indicado arriba si existen grandes diferencias entre las frecuencias de una segunda menor en la parte más aguda del teclado y en la parte más grave del teclado, significa que el uso de las frecuencias como medida de los tonos no es muy adecuada. Por esto utilizamos las centésimas. La centésima se basa en una escala temperada de 1200 centésimas por octava. Esto significa que una segunda menor equivale a 100 centésimas. En experimentos se ha demostrado que cuando dos tonos independientes suenan simultáneamente un individuo medio puede detectar una diferencia de tono de hasta 3 centésimas.

3·9 Relación tensión–frecuencia

Partiendo de lo anterior se puede deducir que hay dos maneras prácticas de establecer la relación entre la cantidad de variación de tensión de control necesaria para producir una determinada variación de tono en el VCO.

El primero de estos sistemas utiliza lo que se denomina un **VCO lineal**. Para este tipo de VCO, la frecuencia de salida del VCO es directamente proporcional a la tensión de control aplicada. Por ejemplo tal VCO puede tener las siguientes relaciones tensión-frecuencia

	Entrada tensión de control		Salida frecuencia VCO	
Progresión lineal de tensión	1 voltio	=	110 Hz (la_2)	Progresión tonal exponencial
	2 voltios	=	220 Hz (la_3)	
	3 voltios	=	330 Hz (aprox. mi_4)	
	4 voltios	=	440 Hz (la_4)	
			etc...	

O para producir sólo las octavas:

	Entrada tensión de control		Salida frecuencia VCO	
Progresión exponencial de tensión	1 voltio	=	110 Hz (la_2)	Progresión tonal lineal
	2 voltios	=	220 Hz (la_3)	
	4 voltios	=	440 Hz (la_4)	
	8 voltios	=	880 Hz (la_5)	
			etc...	

Por lo tanto para producir una serie ascendente de octavas requiere una fuente de tensión que aumente exponencialmente.

La segunda posibilidad consiste en utilizar un **VCO exponencial**. En este tipo de VCO la salida de tonos del VCO es directamente proporcional a la tensión de control aplicada. Por ejemplo este tipo de VCO puede tener las siguientes relaciones tensión–frecuencia.

	Entrada tensión de control		Salida frecuencia VCO	
Progresión lineal de tensión	1 voltio	=	110 Hz (la_2)	Progresión tonal lineal
	2 voltios	=	220 Hz (la_3)	
	3 voltios	=	440 Hz (la_4)	
	4 voltios	=	880 Hz (la_5)	
			etc...	

En este sistema variaciones lineales de tensión producen una progresión de octavas.

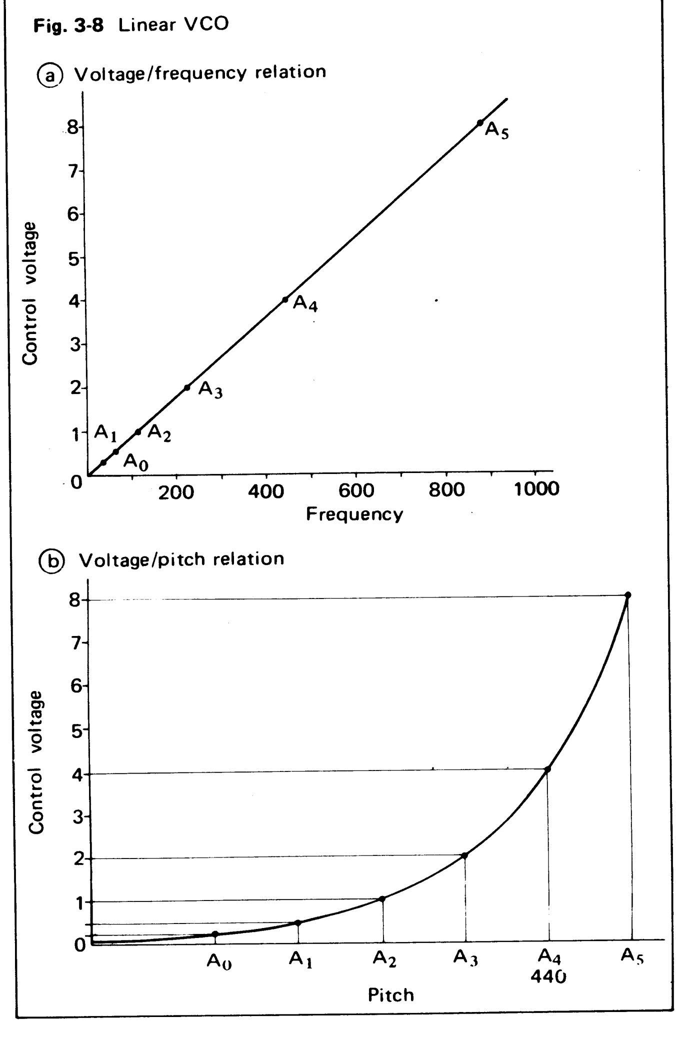


Fig. 3-8 VCO lineal
a) relación tensión/frecuencia
tensión de control
frecuencia
b) relación tensión/tono
tono

3 - 10 El VCO lineal

La fig. 3-8 (a) muestra una gráfica tensión/frecuencia en el VCO lineal del ejemplo 3-9. Aquí se justifica el término "lineal". En (b) se muestra la gráfica tensión/tono para el mismo VCO. La gráfica resultante es exponencial. Para producir una progresión de tonos, tal como octavas (como se representa) o una escala cromática, se requerirán variaciones exponenciales en la fuente de tensión. Este hecho plantea problemas al nivel de la afinación y la transposición. Si tenemos una fuente de tensión que produce una secuencia exponencial de tensiones, como por ejemplo: 1V, 2V, 4V, 8V, y alimentamos esta secuencia al VCO lineal de este ejemplo, generará tonos que producirán saltos de una octava empezando en 110 Hz (la_2) y terminando en 880 Hz (la_5), tal como se muestra en (b). Para transponer esta secuencia de notas en una octava, de forma que se inicie en 220 Hz (la_3) y termine en 1760 Hz (la_6) sería necesario que doblaramos (multiplicar por 2) la tensión de entrada; por lo tanto el VCO lineal necesita la adición de un multiplicador electrónico en su entrada para poder transponer libremente. También necesita un teclado exponencial, es decir, un teclado que genere pasos de tensión que aumenten exponencialmente cuando se toca una escala cromática. Como el teclado a veces se utiliza para otras funciones del sintetizador, se deberían acomodar otros parámetros del sistema para esta relación exponencial.

3 - 11 El VCO exponencial

La fig. 3-9 (a) muestra la gráfica tensión/frecuencia en el VCO exponencial. La principal diferencia entre esta curva exponencial y la presentada en la fig. 3-8 (b) es que sube y gira a la derecha en vez de ir a la derecha y girar hacia arriba. La fig. 3-9 (b) presenta la gráfica tensión/tono en el VCO exponencial. De aquí puede colegirse que los nombres aplicados a estos tipos de VCO dependen simplemente del punto de vista. El VCO exponencial produce una relación lineal tensión/tono y el VCO lineal produce una relación exponencial tensión/tono. Los ingenieros generalmente hablan más en términos de frecuencias de oscilador que en términos de tonos musicales, debiéndose recordar que los VCO son utilizados en otros campos de la electrónica, no tan sólo como fuentes de tonos para sintetizadores. Los nombres aplicados a los VCO han sido dados desde el punto de vista de las frecuencias.

En música, como estamos más interesados en las relaciones de tonos que en las relaciones de frecuencia, el uso de un VCO exponencial en el cual el tono está directamente relacionado con la tensión de control puede ser una elección más lógica para la generación de tonos en el sintetizador. Cualquier fuente lineal puede ser utilizada para producir escalas musicales y las fuentes lineales de tensión son más fáciles de acomodar a otros parámetros del sistema. Transposición y afinación se convierten en operaciones sencillas, simplemente por la adición matemática de fuentes de tensión. Para transportar o afinar un VCO exponencial sólo se necesita aportar una tensión fija al nivel propio para que se sume a la tensión de control de tono.

Como el VCO exponencial utiliza entradas lineales para obtener variaciones exponenciales de frecuencia precisa un convertidor lineal/exponencial. Este **generador exponencial**, así denominado, es un elemento integrante de todos los VCO exponenciales. Electrónicamente los generadores exponenciales no son difíciles de diseñar. La mayor dificultad estriba en

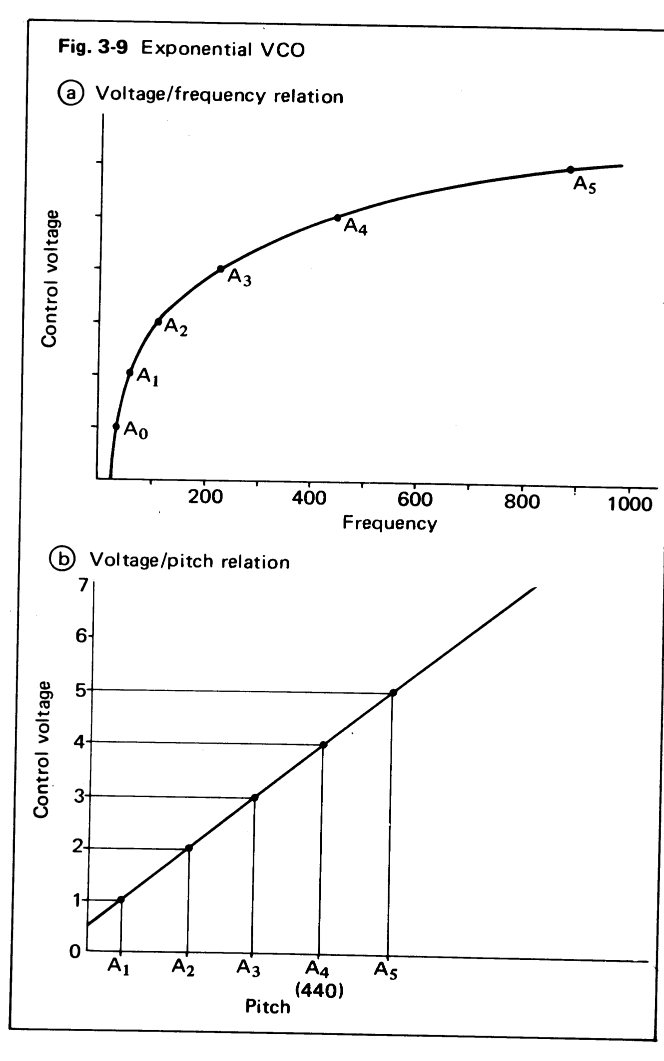


Fig. 3-9 VCO exponencial
a) relación tensión/frecuencia
tensión de control
frecuencia
b) relación tensión/tono
tono

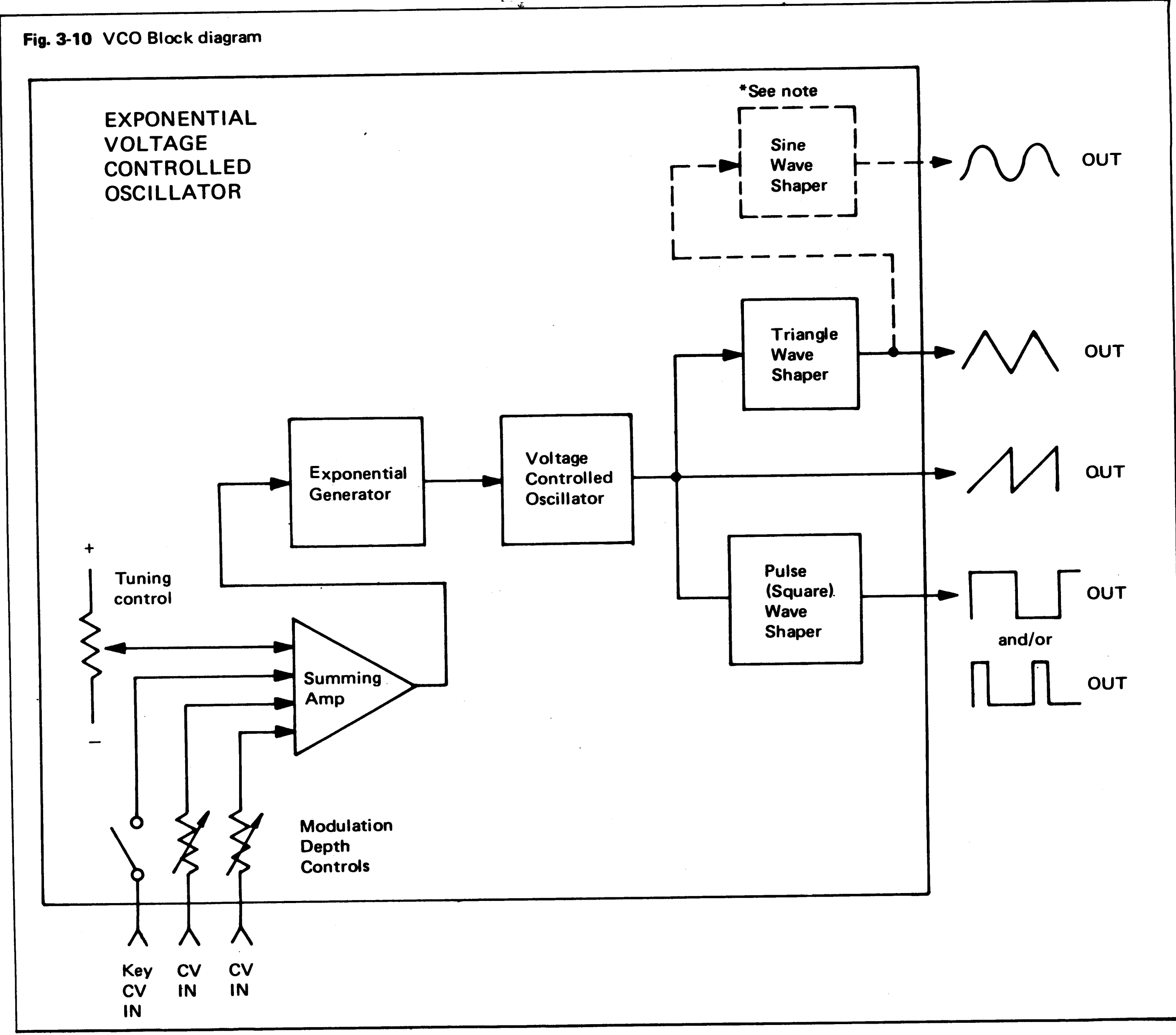


Fig. 3-10 Diagrama VCO
OSCILADOR EXPONENCIAL CONTROLADO POR TENSION
Control de afinación
Generador exponencial
Oscilador controlado
Sumador
Control de modulación
Véase nota
Conformador de onda sinusoidal
Conformador de onda triangular
Conformador de pulsos (onda cuadrada)
ENTRADA CV Tecla
ENTRADA CV
SALIDA
y/o
NOTA: muchos VCO no incluyen conformadores de onda sinusoidal ya que una onda sinusoidal es fácilmente producida filtrando cualquiera de las otras ondas

que son muy sensibles a la temperatura. En los primitivos VCO exponenciales esta dependencia de las variaciones de temperatura significaba que los VCO tenían que ser afinados continuamente ya que rápidamente se desafinaban. La compensación de temperatura utilizada en los modernos VCO produce tonos que son muy estables.

El VCO exponencial es el VCO más corriente en los sintetizadores actuales controlados por tensión. El patrón tensión/tono más común es 1V/ 8va (1 voltio por octava), tal como se ha presentado en los ejemplos anteriores. Esto significa que si la entrada de tensión de control varía en un voltio, el tono del VCO cambiará en una octava. Para obtener una variación de un semitono precisamos una variación de 1/12 voltio en la tensión de control, ya que hay 12 semitonos en una octava. La relación 1V/ 8va es bastante adecuada. Probablemente surgió a raíz de las necesidades de diseño de los circuitos de sintetizador. Con las tensiones más comunes en las fuentes de potencia utilizadas en muchos circuitos conteniendo IC (circuitos inte-

grados), es bastante fácil obtener variaciones de tensión que se mantengan perfectamente lineales entre 0 y unos + 12 voltios.

Con un patrón de 1 V/ 8 va y utilizando + 10 voltios como límite superior se obtendrá una gama de diez octavas que cubre todas las frecuencias audibles. Si especificamos una precisión de ± 10 milivoltios (± 0,01 voltios) esto dará una precisión de 0,01% para todos los tonos.

La fig. 3-10 presenta un diagrama para un típico oscilador controlado por tensión. En la parte inferior del diagrama hay tres entradas controladas por tensión (CV). La TECLA CV (del teclado) tiene un interruptor PARO/MARCHA, de forma que la salida de frecuencia del VCO puede independizarse del teclado. El VCO, en este ejemplo, tiene otras dos entradas de tensión de control, ambas con control de volumen de forma que se puede atenuar (reducir) la entrada. El control AFINACION VCO, no es más que una fuente variable de tensión dentro del VCO. El **sumador** hace exactamente lo que implica su nombre: suma todas las entradas de tensión para generar un nivel que produzca el tono deseado en el VCO. Por ejemplo si las cuatro entradas de tensión de control son respectivamente + 1,50 V, – 0,82 V, + 1,32 V y 0,00 V, la suma sería: + 2,00 V. Este voltaje podría producir por ejemplo el tono del do central. El tono real dependerá del diseño del VCO, el patrón utilizado no tiene importancia ya que nos ocupamos más del tono resultante que de la tensión real necesaria para producir dicho tono.

A continuación del sumador está el convertidor exponencial que transforma las variaciones lineales de la tensión de entrada en variaciones exponenciales que controlan el oscilador propiamente dicho. El tipo común de oscilador genera una onda en diente de sierra, si se desean otros tipos de onda deben incorporarse circuitos de conformación de onda en la salida, tal como se presenta en el diagrama.

3 - 12 El oscilador de bajas frecuencias

Un **oscilador de baja frecuencia** o **LFO** es un oscilador que genera bajas frecuencias, generalmente frecuencias desde justo por encima del límite inferior de audibilidad (25 a 30 Hz, por ejemplo) hasta frecuencias muy por debajo del límite de audibilidad. Un LFO típico puede alcanzar 0,1 Hz, que requiere 10 segundos para producir un ciclo completo. En algunos sistemas se puede utilizar un VCO como LFO. La mayoría de los sistemas tienen uno o más osciladores especiales para generar bajas frecuencias. En grandes sistemas, incluso hay LFO controlables por tensión con una relación tensión/frecuencia idéntica a los VCO del sistema. Así como los VCO, el LFO a menudo produce varias ondas, siendo la más frecuente la sinusoidal. Si se aplica una onda sinusoidal de baja frecuencia a la entrada de tensión de control del VCO (fig. 3-11) el resultado será una oscilación de la frecuencia (tono) del VCO a la velocidad del LFO. Esto produce un efecto que en música se denomina **vibrato**.

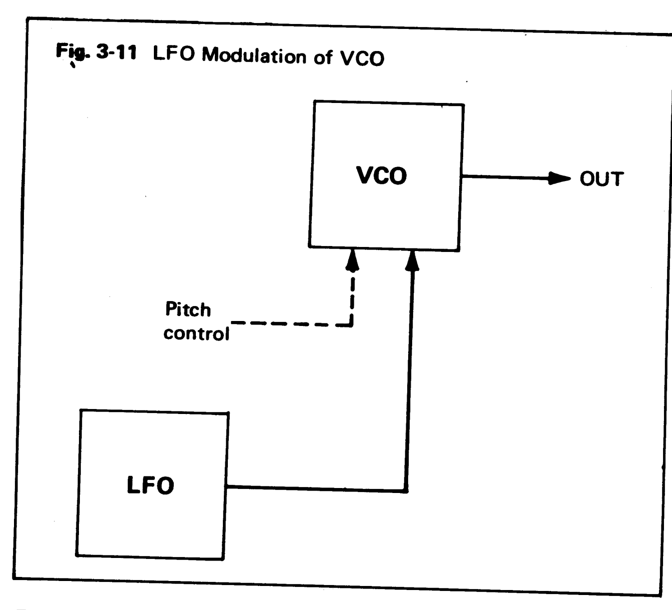


Fig. 3-11 Modulación LFO de un VCO
Control de tono
SALIDA

3 - 13 Modulación de frecuencia

Modulación es el control de un parámetro por otro, un concepto fundamental en el sintetizador controlado por tensión. Controlar la frecuencia de salida por medio de un control externo es una forma de **modulación de frecuencia** (FM). Tanto el **vibrato** como el **control de tono** son formas de modulación de frecuencia. La fig. 3-12 presenta ondas obtenidas mediante el control de un LFO sobre un VCO. En (b) se representa la salida del VCO sin modulación. En (c), (d) y (e) se repre-

senta la salida del VCO con diferentes grados de modulación. Los pasos de + a − de la onda del LFO en (a) producen incrementos y decrementos, respectivamente, en la salida de frecuencia de la onda del VCO. Cuanto mayor es la modulación, más lejos sube y baja el barrido de la frecuencia del VCO. La frecuencia media o la frecuencia central de los barridos del VCO es la misma frecuencia como si no hubiera modulación de LFO.

La fig. 3-13 representa un diagrama de una emisora de radio FM que funciona exactamente bajo el mismo principio.

3 - 14 Interconexión básica de un sintetizador

La fig. 3-14 presenta la interconexión básica de un sintetizador con la adición de entradas de modulación VCO. El VCO genera su onda continuamente, la frecuencia de la onda depende de la suma de las entradas de control. El siguiente capítulo muestra cómo se inicia y se apaga el sonido con el fin de producir notas musicales individuales.

Fig. 3-12 Frequency modulation waveforms

(a) LFO Waveform: (Modulating wave)
+
0

(b) VCO sine wave without modulation (carrier)

Modulated VCO waveforms

(c) Shallow: (Vibrato)

(d) Medium: (Exaggerated vibrato)

(e) Deep: (Special effects)

Fig. 3-12 Ondas de modulación de frecuencia
a) onda LFO (onda moduladora)
b) onda sinusoidal del VCO sin modulación
ondas del VCO moduladas
c) baja (vibrato)
d) media (vibrato exagerado)
e) alta (efectos especiales)

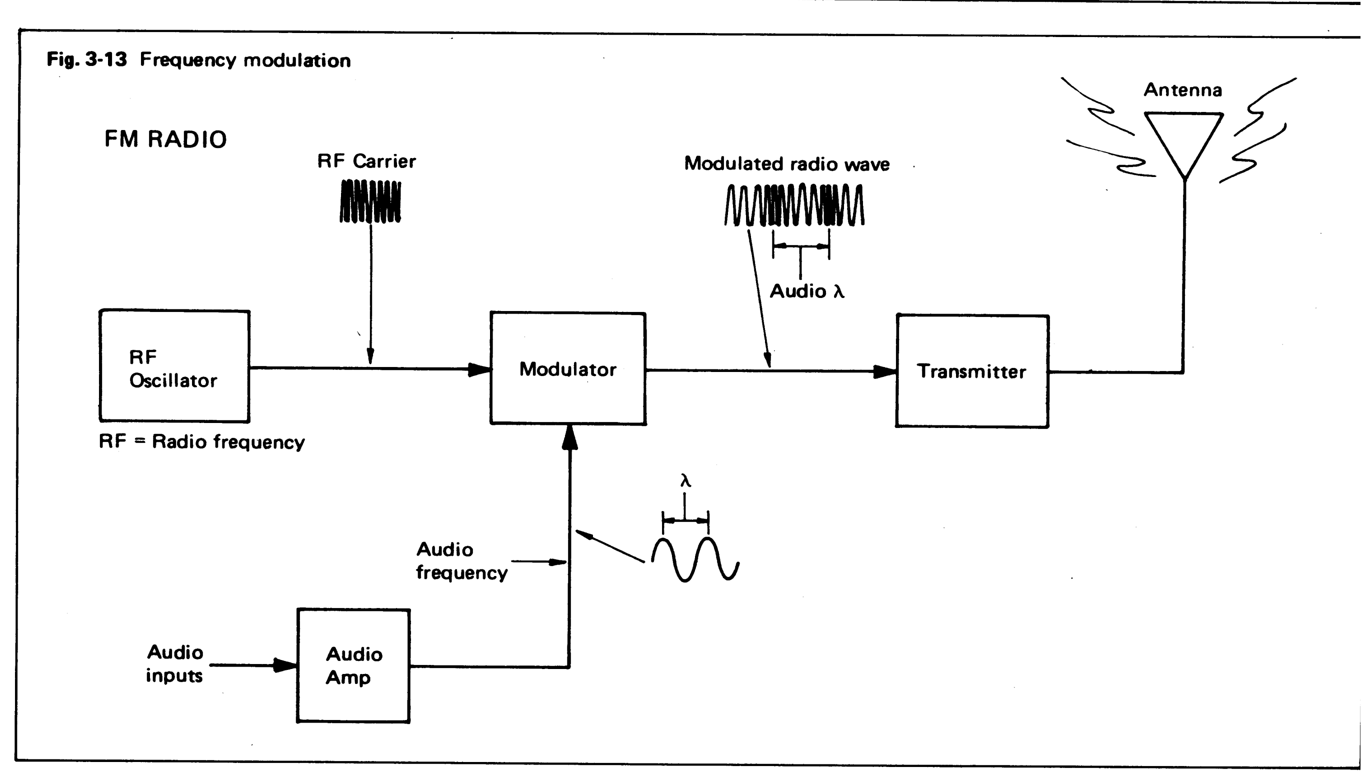


Fig. 3-13 Modulación de frecuencia
EMISION FM
Oscilador RF
RF = radiofrecuencia
Portadora RF
Modulador
Onda radio modulada
λ audio
transmisor
antena
audiofrecuencia
entradas de audio
amplificador audio

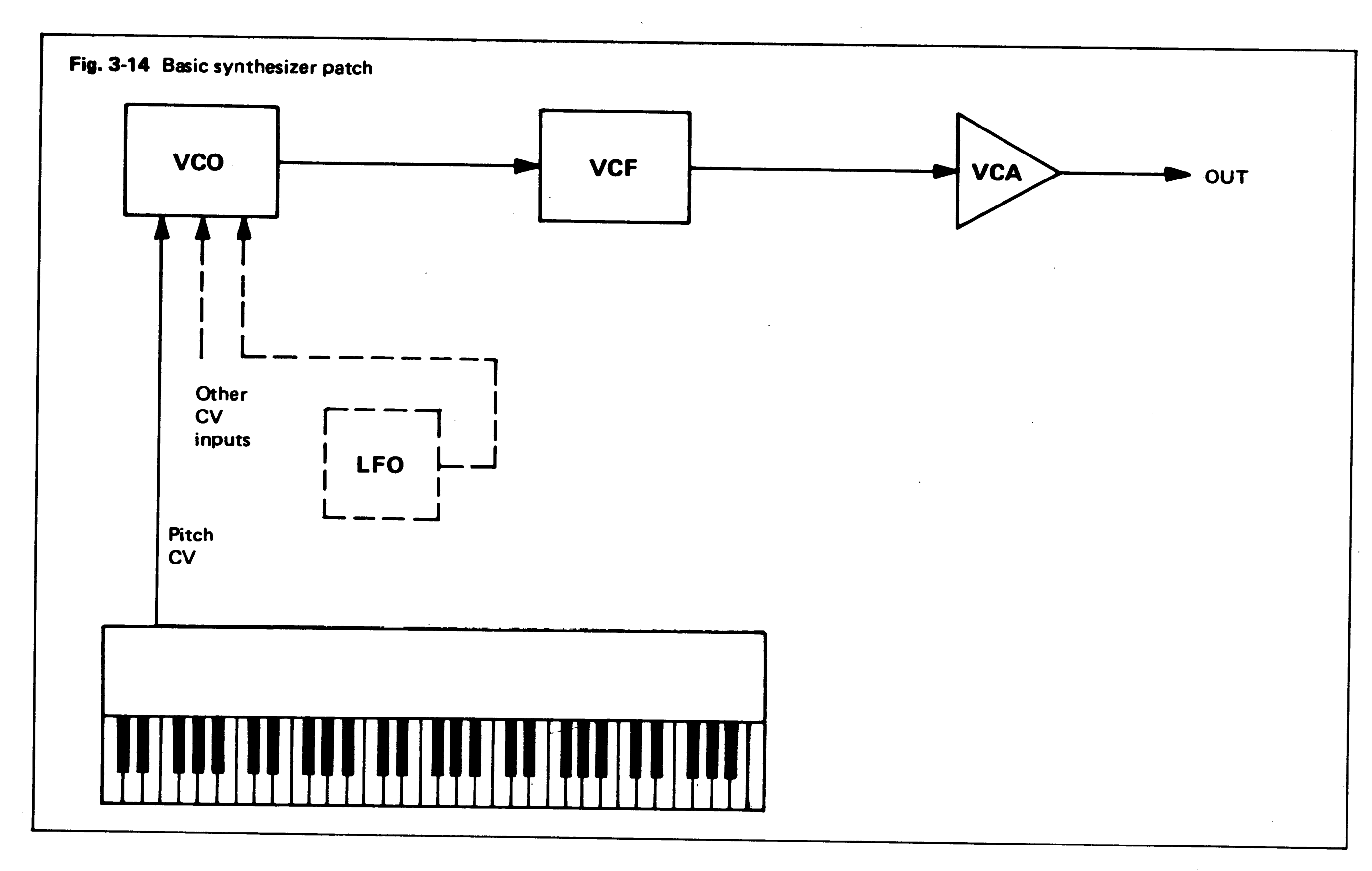


Fig. 3-14 Interconexión básica de sintetizador
Salida
CV de tono
Otras entradas CV

3 - 15 Cuestionario

1. ¿Cuál es la diferencia entre una escala natural y una escala temperada?
2. ¿Qué es frecuencia de batido? Describa cómo se afina un instrumento utilizando las frecuencias de batido..
3. ¿Qué es la serie armónica natural? ¿Cuáles son los seis primeros armónicos del do central?
4. Explique las causas de consonancia o disonancia en un intérvalo musical.
5. ¿Qué es una progresión exponencial?
6. Explique las relaciones tensión/frecuencia o tono en un VCO lineal.
7. Explique las relaciones tensión/frecuencia o tono en un VCO exponencial.
8. ¿Qué es un oscilador de baja frecuencia?
9. ¿Qué es modulación de frecuencia?
10. ¿Qué es vibrato?

Palabras a definir

centésima
escala natural
escala temperada
exponencial
FM
frecuencia de batido
generador exponencial
LFO
lineal
modulación
modulación de frecuencia
oscilador de baja frecuencia
oscilador controlado por tensión
progresión exponencial
serie armónica natural
temperamento
VCO
VCO exponencial
VCO lineal
vibrato

CAPITULO 4
INTENSIDAD

4 - 1 Introducción

Lo primero que salta a la mente cuando se habla de intensidad en música es posiblemente **dinámica** (variación de intensidad), por lo tanto la intensidad puede parecer menos importante que los otros elementos del sonido. La envolvente de un sonido puede que parezca que tenga poca importancia cuando se trata de identificar una fuente sonora, pero no es así. El efecto de la envolvente sobre un sonido es tan importante que cuando se intenta sintetizar un sonido, generalmente es mejor sintetizar la envolvente antes que estudiar el timbre.

Antes de considerar la intensidad como un elemento del sonido primero estudiaremos cómo se mide la intensidad.

4 - 2 Medida de la intensidad

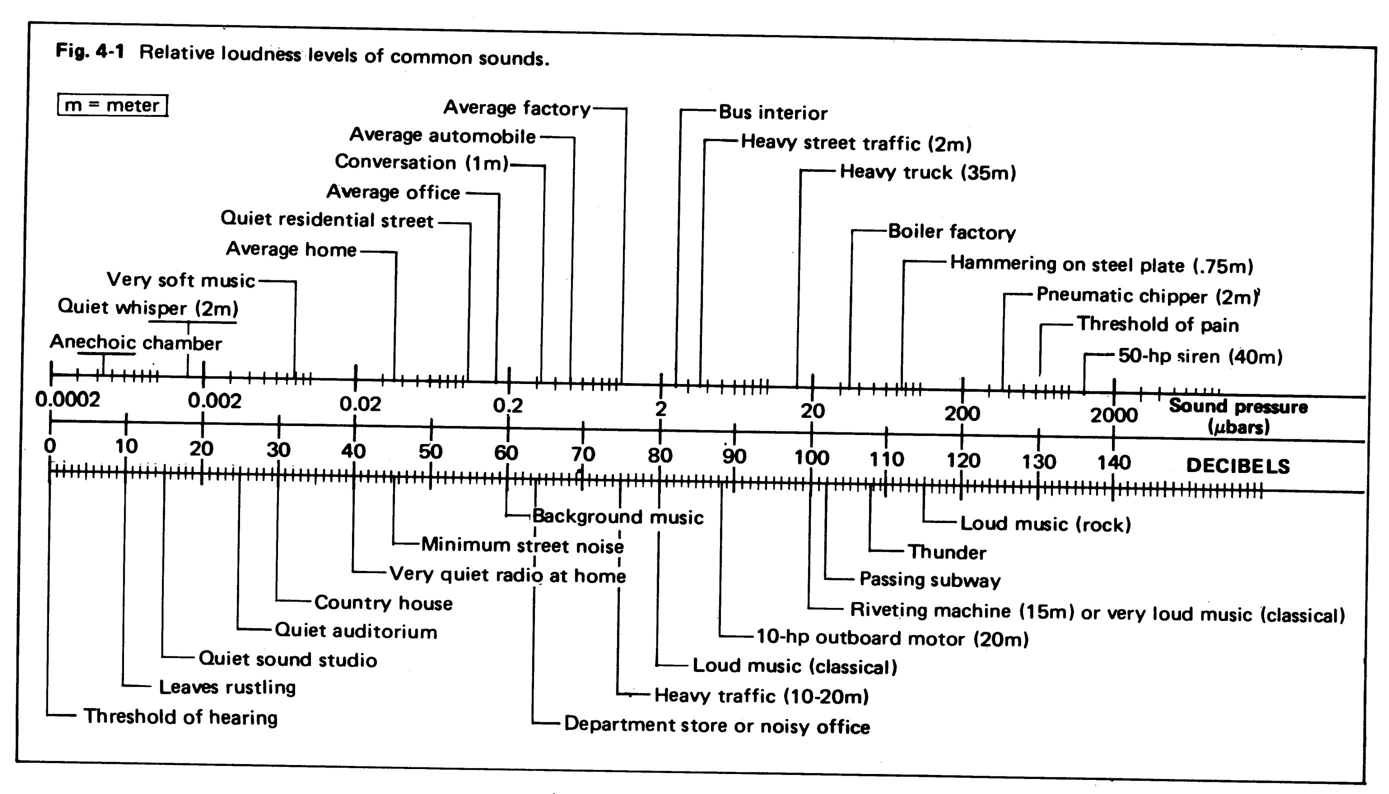
Una manera de medir la intensidad es medir las variaciones de presión que se producen en el aire como resultado de las ondas sonoras. La presión atmosférica a menudo se mide en unidades denominadas **bar.** Un bar es igual a la presión atmosférica normal a nivel del mar, o sea aproximadamente un kilogramo por centímetro cuadrado. Como las variaciones de presión producidas, incluso por los sonidos más potentes, son demasiado pequeñas para ser medidas por una unidad tan grande como el bar utilizamos el **microbar** (escrito frecuentemente como μbar; 1μbar = 0,000001 bar).

Otra unidad para medir el nivel de sonido (entre otras cosas) es el decibelio (abreviado dB) denominado en honor a Alexander Graham Bell (1847-1922). La mayor parte de la confusión asociada con el decibelio es debido al hecho que no es una medida de nivel y por lo tanto no tiene sentido por sí misma. (Otro punto de confusión surge por el hecho que la escala de decibelios es exponencial, no lineal). El decibelio es una comparación o relación entre dos cantidades, en este caso, de intensidad. Por lo tanto si oímos dos sonidos de intensidades distintas es posible medir y definir que el primero tiene una intensidad de 6dB (por ejemplo) superior al segundo. Así no podemos saber cuál es la intensidad de cada uno, sólo que uno es más fuerte que el otro en un determinado valor.

Para utilizar el decibelio como unidad de medida de presión acústica primero tenemos que establecer algún nivel de referencia, entonces podemos decir que un determinado sonido está por encima o por debajo de esta referencia en una cierta cantidad.

En la investigación acústica se utiliza una **cámara anecoica.** Esta es una sala construida especialmente con todas las paredes muy aisladas para eliminar al máximo el sonido exterior. El interior está diseñado de tal forma que los sonidos producidos en el interior son absorbidos al máximo con el fin de eliminar la reverberación. Estas salas también son frecuentemente utilizadas por los fabricantes de micrófonos y altavoces para probar y calificar sus productos.

Utilizando una cámara anecoica se ha determinado que para una persona media el **umbral de audición,** punto en el que el sonido comienza a ser perceptible, es 0,0002 μbar. El umbral máximo se denomina el **umbral de dolor,** o punto donde el sonido empieza a ser percibido como sensación (dolor). Se ha



determinado que el umbral de dolor es aproximadamente 1.000 μbar.

El nivel de presión acústica (SPL) es una escala en decibelios que utiliza el umbral de audición de 0,0002 μbar como punto cero de referencia. Por lo tanto el umbral de audición es de 0 dB SPL.

La fig. 4-1 presenta los niveles de presión acústica de algunos sonidos típicos. Obsérvese particularmente la relación entre la escala SPL y la escala en μbar y compárese con la relación entre tono y frecuencia (fig. 3-7). Si introducimos una señal de prueba en un amplificador de alta fidelidad que es capaz de producir sonidos muy potentes y si empezamos con el control de volumen en la posición "0" y giramos a una velocidad constante en incrementos de 3 dB cada uno, para nuestros oídos la intensidad del sonido parecerá que se incrementa a pasos iguales, tal como se incrementan los tonos en una escala cromática. Al igual que la frecuencia, las variaciones de presión de aire en μbar, se incrementan exponencialmente.

La variación perceptible más pequeña en nivel acústico, que una persona media es capaz de detectar, es aproximadamente 3 dB, pero esto dependerá del nivel general y de las frecuencias que intervengan. Es decir, si producimos dos sonidos del mismo tono uno tras otro, tendrían que tener una diferencia de aproximadamente 3 dB en intensidad para que los niveles parecieran diferentes.

4 - 3 Respuesta del oído a la frecuencia

El oído es más sensible a ciertas frecuencias que a otras. La sensibilidad es función del volumen del sonido. Esto se muestra en la fig. 4-2. En ordenadas del gráfico se muestran intensidades de sonido en dB SPL. La intensidad se refiere al nivel del sonido tal como se mide con instrumentos. Las curvas del gráfico muestran volumen referido al nivel subjetivo de sonido tal como lo percibe el oído. Tanto volumen como intensidad son medidos en decibelios, pero para minimizar la confusión entre

Fig. 4-1 Niveles relativos de intensidad de sonidos corrientes
m = metros
Presión sonora (μ bar)
Decibelios
Cámara anecoica
Susurro suave (2m)
Música muy baja
Hogar medio
Calle residencial tranquila
Oficina media
Conversación (1 m)
Automóvil medio
Fábrica media
Interior autobús
Tráfico intenso (2 m)
Camión pesado (35 m)
Calderería
Martilleo sobre una plancha de acero (0,75 m)
Martillo neumático (2 m)
Umbral de dolor
Sirena de 50 CV (40 m)

Umbral de audición
Murmullo de hojas
Estudio de sonido en silencio
Auditorio en silencio
Casa de campo
Radio en casa a bajo volumen
Ruído de calle mínimo
Música de fondo
Grandes almacenes y oficina ruidosa
Tráfico pesado (10-20 Tm)
Música clásica con volumen
Motor fuera-borda de 10 CV (20 m)
Remachadora (15 m) o música clásica muy fuerte
Paso de un "metro"
Trueno
Música de rock a fuerte volumen

los dos, ya que no coinciden en todas las frecuencias, se utiliza a menudo la unidad **fon** para medir volumen.

Obsérvese que la mayoría de las curvas de volumen tienen un segmento corto, plano, alrededor del punto 1.000 Hz (y éste es el motivo por el que 1.000 Hz se utiliza como frecuencia de referencia en los estudios de grabación para comprobar los equipos). Es decir para una frecuencia de 1.000 Hz el nivel de *volumen* en fon es el mismo que el nivel de intensidad en dB SPL. Estas curvas pueden por lo tanto considerarse que presentan los niveles de intensidad que serían necesarios para dar a todas las frecuencias el mismo volumen aparente que las frecuencias de 1.000 Hz de referencia. Por ejemplo para que un tono de 100 Hz suene con la misma intensidad que un tono de 1.000 Hz a 40 dB SPL se precisaría un nivel de intensidad de aproximadamente 68 dB SPL (la curva de 50 fon cruza la vertical de 100 Hz a 68 dB SPL).

La curva inferior del gráfico, la curva de volumen 0 fon representa el umbral de audición para diferentes frecuencias. A 1.000 Hz el umbral de audición es de 0 dB SPL. Las frecuencias inferiores sin embargo, requieren intensidades superiores para ser audibles. Por ejemplo 100 Hz requieren un nivel de 38 dB SPL antes de ser audible, mientras que una frecuencia de 30 Hz requiere una intensidad de más de 60 dB SPL. Esto justifica por qué un pasaje grave suave hará que el VU-metro del magnetofón salte a una posición más alta que los pasajes agudos con el mismo volumen aparente.

Naturalmente estas curvas representan valores medios. Serían ligeramente diferentes para distintas personas y ligeramente distintas para el oído derecho y el oído izquierdo. Esto explicará parcialmente por qué la gente prefiere distintas posiciones de los controles de tono en un amplificador. Uno puede asombrarse de que un amigo prefiera incrementar los agudos; esto podría ser debido a que su audición es diferente.

Otro punto, relacionado con estas curvas, es que la mayoría de los botones que controlan el nivel en equipos electrónicos controlan intensidad más que volumen. Por ello es posible fijar el control a un nivel bajo de forma que sea suficiente para que las frecuencias más graves se encuentren por debajo del umbral de audición. Algunos amplificadores de alta fidelidad tienen un control de "volumen" que teóricamente puede tener y mantener en cualquier punto el mismo volumen aparente para todas las frecuencias de manera que con niveles de audición bajos no se pierden.

Como el volumen a diferentes frecuencias varía con la posición de los controles de nivel del sistema, resulta que sería muy importante durante el proceso de grabación de música electrónica monitorizar la salida al mismo nivel que se desea sea ejecutada la grabación terminada.

4.4 Margen dinámico

El margen dinámico de la música orquestal puede exceder 100 dB. Es decir si el pasaje más piano tiene un nivel de 0 dB, los pasajes más potentes pueden rebasar los 100 dB. Los equipos electrónicos de grabación y reproducción generalmente no son adecuados para procesar estas variaciones. El límite superior de un equipo viene determinado por el nivel de señal que puede ser procesado antes que se produzca distorsión. El límite inferior queda determinado por el nivel de ruido del equipo. Todo equipo electrónico genera una cierta cantidad de ruido. Este ruido de fondo se puede oir perfectamente

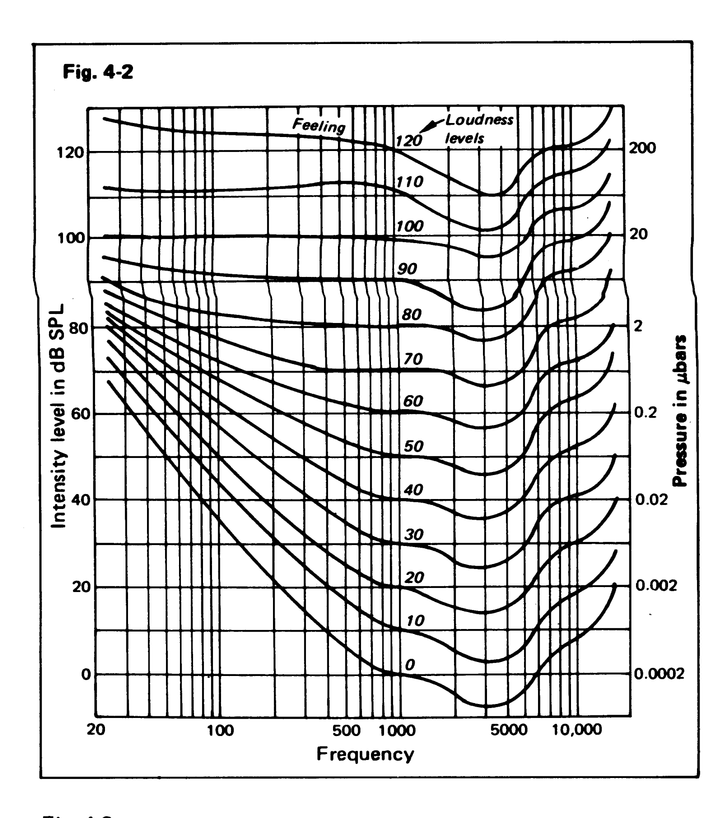


Fig. 4-2

Nivel de intensidad en dB SPL
Frecuencia
Presión en μ bar
umbral de dolor
Niveles de volumen

cuando los controles de volumen se giran al máximo en un momento en que el sistema no está procesando una señal de audio.

Un margen dinámico útil de un magnetofón corriente de cinta abierta de buena calidad es del orden de unos 50 a 60 dB. Esto naturalmente no se acerca al margen dinámico de 100 dB de la música viva. Un pequeño análisis demostrará que esto no está tan mal como parece. Si asumimos que el nivel de ruido de fodo de una casa media es de unos 45 dB SPL (fig. 4-1) requiere que el nivel de la música sea por lo menos el mismo o algo superior a éste para ser audible. Cualquier nivel inferior quedaría oculto o cubierto por el ruido de fondo. Si añadimos el margen dinámico de 100 dB al ruido de fondo de 45 dB SPL obtenemos un nivel máximo de 145 dB SPL para los pasajes más fuertes en la música. Aparte del efecto que esto produciría en los vecinos este nivel está muy por encima del umbral del dolor. Suponiendo un margen dinámico conservador de 50 dB para una grabación en cinta, los pasajes más fuertes alcanzarán un nivel de 95 dB SPL, un nivel más realista si un oyente le gusta oir música muy fuerte y es comprensivo con los vecinos.

La fig. 4-3 muestra dos ondas audio. En (a) el nivel de entrada se ha ajustado de tal forma que los picos están jsuto dentro del nivel máximo admisible del equipo que procesa la señal. La línea a trazos muestra el nivel medio que representa su volumen medio. En (b) aún cuando los picos sobrepasan el nivel máximo audible (por lo tanto distorsionando la señal), el nivel medio y el volumen aparente, por lo tanto, son inferiores que en el caso (a).

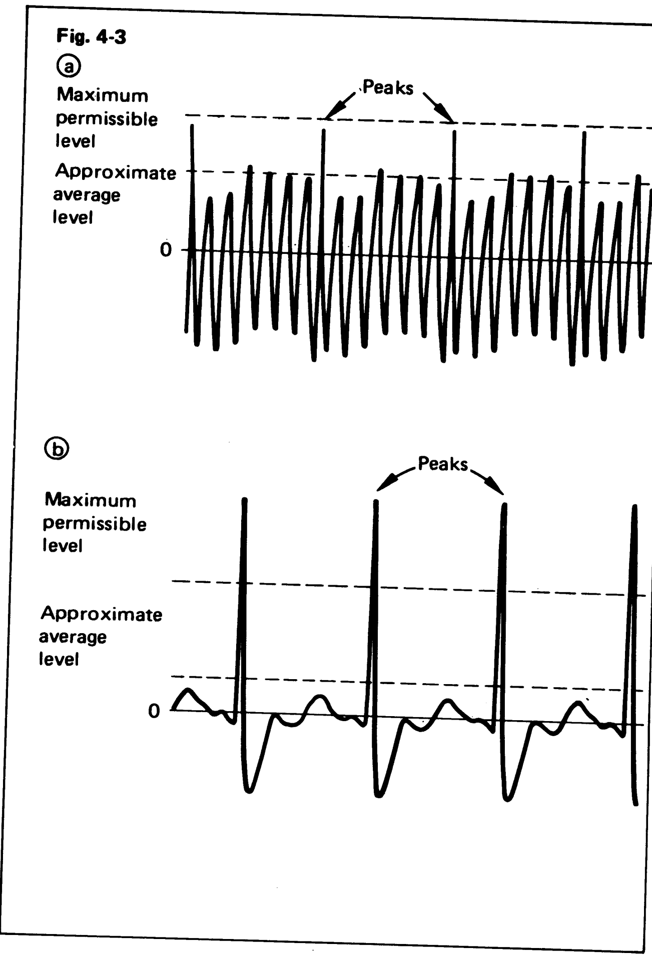


Fig. 4-3

a) nivel máximo admisible
nivel medio aproximado
b) nivel máximo admisible
nivel medio aproximado
picos

4 - 5 Intensidad de los armónicos

El timbre de una fuente sonora es determinado por el número de armónicos contenidos en un sonido y sus intensidades relativas. Este es otro aspecto de la intensidad como elemento del sonido. La importancia de la intensidad de los armónicos en un sonido puede demostrarse examinando el contenido armónico de dos ondas utilizadas corrientemente en síntesis: la onda cuadrada y la onda triangular. El espectro de la onda cuadrada se repite en la fig. 4-4 para su comparación con el espectro de la onda triangular. Obsérvese que a excepción de las intensidades de los armónicos estas dos ondas contienen exactamente los mismos armónicos: todos los armónicos impares. En el caso de la onda triangular la intensidad de los armónicos existentes es tan baja que la onda triangular tiene un timbre muy cercano al de la onda sinusoidal, un timbre muy lejano de la onda cuadrada. En el Capítulo 5 se mostrará cómo una onda cuadrada puede ser filtrada de tal forma que se acerque mucho a la forma de la onda triangular.

4 - 6 Envolventes

El **amplificador controlado por tensión** o **VCA** es la fuente más importante de control de nivel durante la producción de notas en un sintetizador. El término "amplificador" puede ser considerado poco apropiado ya que en muchos sintetizadores el nivel de salida normal de un VCA nunca excede al nivel de entrada. Sin embargo el punto importante es que el nivel de salida es controlado por una tensión de control aplicada externamente.

La creación de la forma de una curva de volumen o envolvente de un sonido se realiza mediante el control del VCA con un **generador de envolventes** (a veces denominado ADSR de

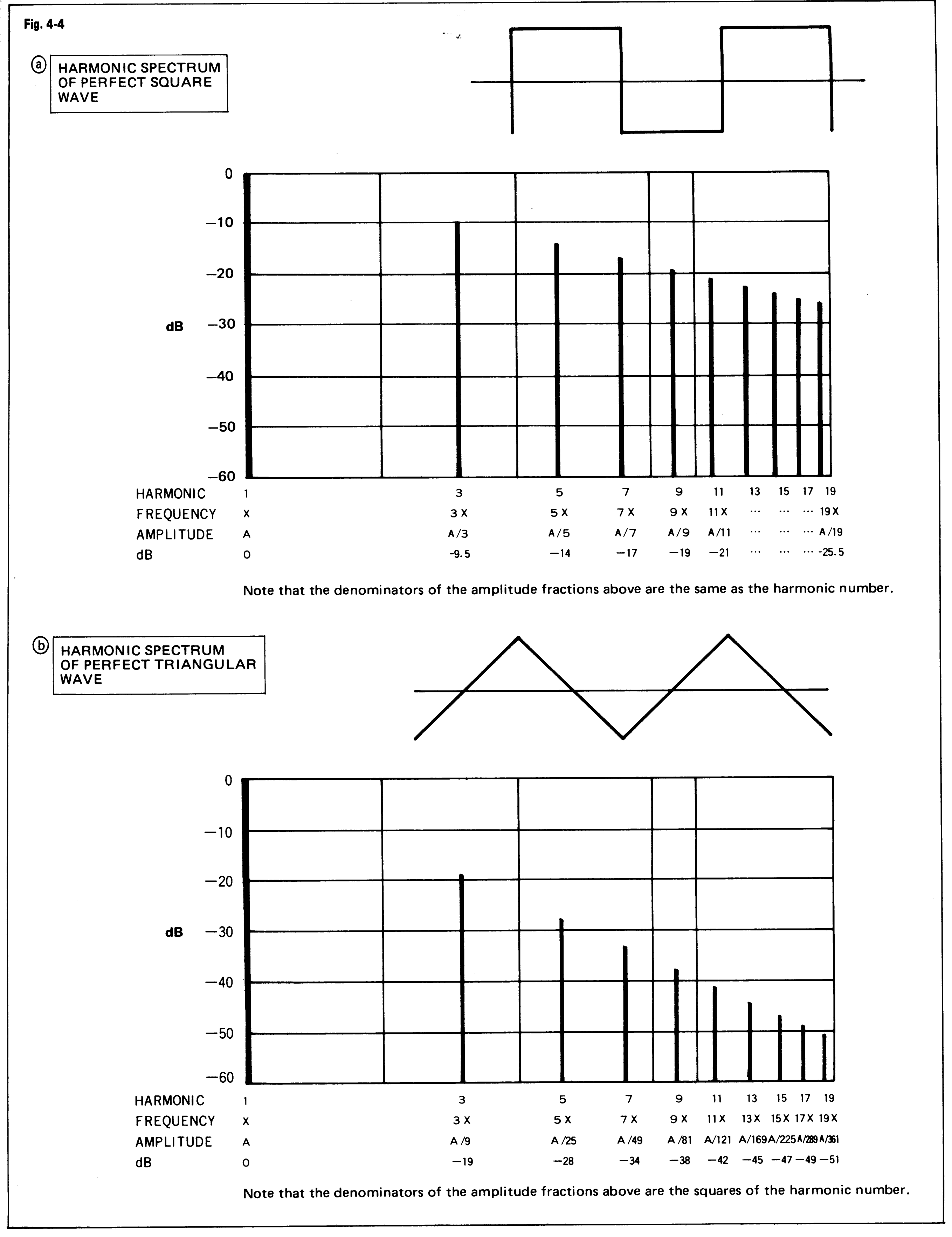


Fig. 4-4

a) ESPECTRO ARMONICO DE UNA ONDA CUADRADA PERFECTA
armónico
frecuencia
amplitud
Obsérvese que los denominadores de las fracciones de amplitud son idénticos al número de armónicos

b) ESPECTRO ARMONICO DE UNA ONDA TRIANGULAR PERFECTA
Obsérvese que los denominadores de las fracciones de amplitud son los cuadrados del número de armónicos

acuerdo a sus controles). La salida del generador de envolventes es una tensión que aplicada a la entrada de control de una VCA da al sonido una curva de volumen.

Cuando se pulsa una tecla de un piano y se sostiene en su posición inferior la envolvente resultante será tal como se muestra en la fig. 4-5 (a). El tiempo necesario para que el sonido llegue hasta su máximo se llama **tiempo de ataque.** El tiempo que precisa un sonido hasta su extinción se llama **tiempo de atenuación**. Si se suelta la tecla del piano antes de que se haya extinguido el sonido, éste se amortiguará repentinamente, tal como se muestra en (b). Esto se llama **tiempo de amortiguación.**

La fig. 4-6 muestra dos envolventes posibles en órganos electrónicos. En (a) se muestra una envolvente sólo posible en instrumentos electrónicos. Tal vez como se representa, los tiempos de ataque y de amortiguación son cero, una imposibilidad. En la práctica estos tiempos son del orden de unos milisegundos (1 milisegundo = 0,001 segundos). El ataque y la atenuación tan bruscos hace que esta envolvente produzca un sonido electrónico muy artificial ya que tales sonidos normalmente no existen en la naturaleza. En (b) se muestra una envolvente con tiempo de ataque y de amortiguación algo más largos, utilizados para imitar el inicio y el final del paso del aire a través de un tubo de un órgano. Ambas envolventes introducen un elemento sostenido ya que el sonido continuará en tanto esté pulsada la tecla. Obsérvese que tanto en (a) como en (b) falta la atenuación.

La fig. 4-7 representa una envolvente de sintetizador que contiene los cuatro elementos de una envolvente: ataque (A), atenuación (D), sostenido (S) y amortiguación (R). Pulsando una tecla hace que un **impulso puerta** desencadene el inicio del tiempo de ataque de forma que el nivel del sonido de salida del VCA empieza a crecer. Cuando el sonido alcanza su nivel máximo, al final del tiempo de ataque, se inicia la atenuación y el sonido se atenúa hasta el nivel prefijado por la posición de control de sostenido. El sonido se mantiene hasta que se suelta la tecla. Soltando la tecla se interrumpe el impulso puerta y desencadena el inicio del tiempo de amortiguación en el que se extingue finalmente el sonido. Obsérvese que si el control de sostenido mantiene el máximo, tal como cuando se sintetizan las envolventes mostradas en la fig. 4-6 (a) y (b), falta el elemento de atenuación y el control de atenuación no tiene efecto alguno. La envolvente representada en la fig. 4-7 puede ser instrumento con el que se desee obtener un estilo percusivo tipo sfzp.

La fig. 4-8 representa la salida de un generador de envolvente cuando se sintetizan envolventes tipo piano. Obsérvese la diferencia entre éstas y las envolventes representadas en la fig. 4-5. Las curvas formadas por las envolventes del sintetizador son curvas exponenciales. Experimentos han demostrado que las curvas exponenciales de ataque, atenuación y amortiguación suenan naturales y que intentar generar las pequeñas fluctuaciones que se encuentran en los sonidos naturales no parece añadir nada útil al sonido tal como es percibido por el oido.

4 - 7 Respuesta de control del VCA

Una importante consideración sobre el VCA es su respuesta en relación con su tensión de control de entrada. En la mayoría de VCA la respuesta es lineal. Por ejemplo si la entrada de control es de 2V, la salida también será de 2V. En (b) la onda de salida es una reproducción exacta de la envolvente en la

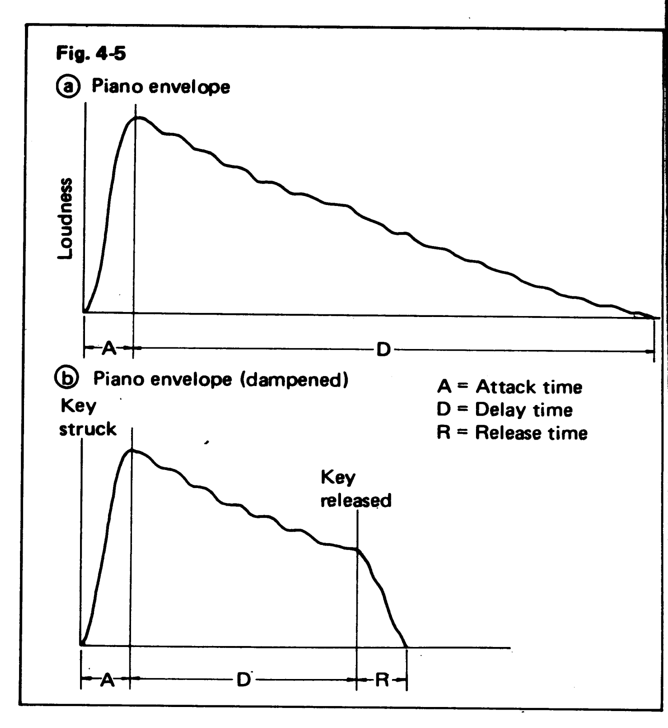


Fig. 4-5
a) envolvente del piano
volumen
A = tiempo de ataque
D = tiempo de atenuación
R = tiempo de amortiguación
b) envolvente del piano (amortiguado)
tecla pulsada
tecla libre

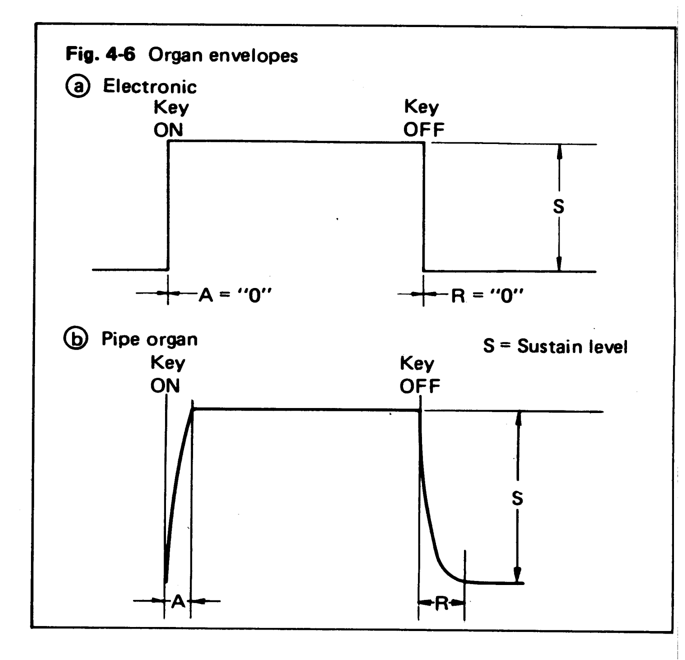


Fig. 4-6 Envolvente de órgano
a) electrónico
b) de tubos
Tecla PULSADA
Tecla LIBRE
S = nivel sostenido

entrada de tensión de control.

Algunos sintetizadores dan la opción de selección entre respuesta lineal y respuesta exponencial. La fig. 4-10 representa la respuesta de un determinado VCA de respuesta exponencial. Obsérvese que en (a) el nivel de salida se presenta en decibelios de manera que el gráfico forma una línea recta. La respuesta es exponencial porque la escala de decibelios es exponencial. Como comparación, (b) representa las salidas de tensión para el mismo VCA. Aquí se puede ver con facilidad la respuesta exponencial. Como ejemplo, una entrada de 6 V, la salida será de – 40 dB tal como se muestra en (a), o 0,1 V, tal como se muestra en (b). En (c) se muestran las ondas. Las entradas de señal y de control son las mismas que las representadas en la fig. 4-9 (b) pero obsérvese la notable diferencia en la onda de salida. La entrada de control representa la atenuación exponencial de un generador de envolventes. La salida en la fig. 4-9 (b) es una reproducción exacta de esta atenuación exponencial. Debido a la respuesta exponencial del VCA en la fig. 4-10, la atenuación exponencial de la entrada de control es muy exagerada en la salida en (c). Esto es muy útil para sintetizar sonidos incisivos, percusivos.

4·8 Modulación en amplitud

Utilizando el VCA para controlar el nivel de una señal es una forma de **modulación en amplitud**, el mismo principio que se utiliza en la emisión radiofónica en AM (véase fig. 4-11). En música una ondulación continua del nivel de sonido se denomina trémolo. Este tipo de modulación en amplitud puede ser obtenido utilizando un LFO como entrada de control a un VCO, tal como se muestra en la fig. 4-12. Como que el VCA permanece "cerrado" si no tiene una entrada de control, es necesario suministrar una tensión fija a la entrada de modulación de tal manera que el nivel de salida se queda a la mitad de su nivel máximo normal. De esta manera, el VCA reaccionará a las fases ascendentes (+) y descendentes (–) de la onda del LFO. Las fases ascendentes obligarán a que "abra" más el VCA y las fases descendentes harán que el VCA "cierre" más. La mayoría de los VCA proporcionan un control de **ganancia inicial** (llamado a veces control de bloqueo) que se puede utilizar para mantener el VCA en una condición parcialmente "abierta".

La fig. 4-13 representa las ondas producidas por el sistema arriba descrito. En (b) se representa la salida del VCO sin modulación por LFO pero con una tensión fija (o control inicial de ganancia) manteniendo el VCA parcialmente "abierto". En (c), (d), y (e) se pueden observar diferentes acciones de la modulación LFO sobre el nivel de salida del VCA para ondular periódicamente por encima y por debajo de un nivel definido por la entrada de tensión fija.

4·9 Interconexión básica del sintetizador

La fig. 4-14 muestra la interconexión básica con la adición de la modulación por VCA por medio de un generador de envolvente.

Una tensión aparece en la salida puerta del teclado en el momento que se pulsa una tecla. Como esta tensión se abre y se cierra con la pulsación de las teclas se denomina **impulso puerta**. El impulso puerta se utiliza muchas veces para poner en marcha el generador de envolvente. La salida del generador de envolvente a continuación "abre" el VCA para dar paso al sonido del sintetizador

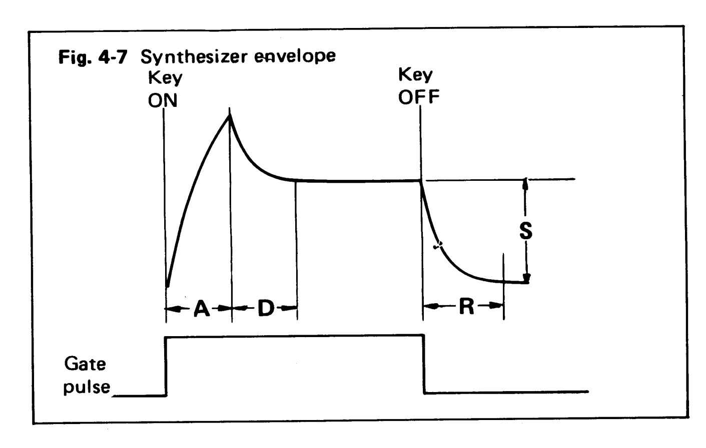


Fig. 4-7 Envolvente de sintetizador
Tecla PULSADA
Tecla LIBRE
Impulso puerta
MARCHA
PARO

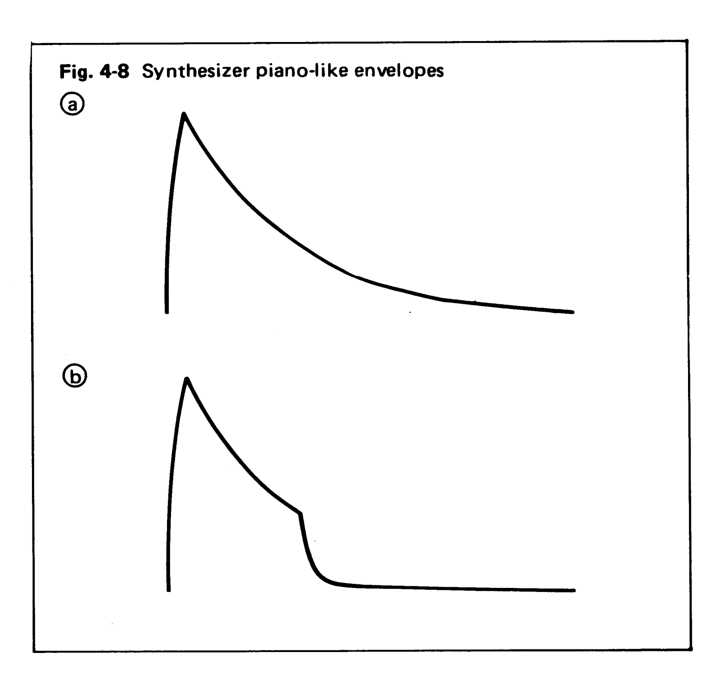
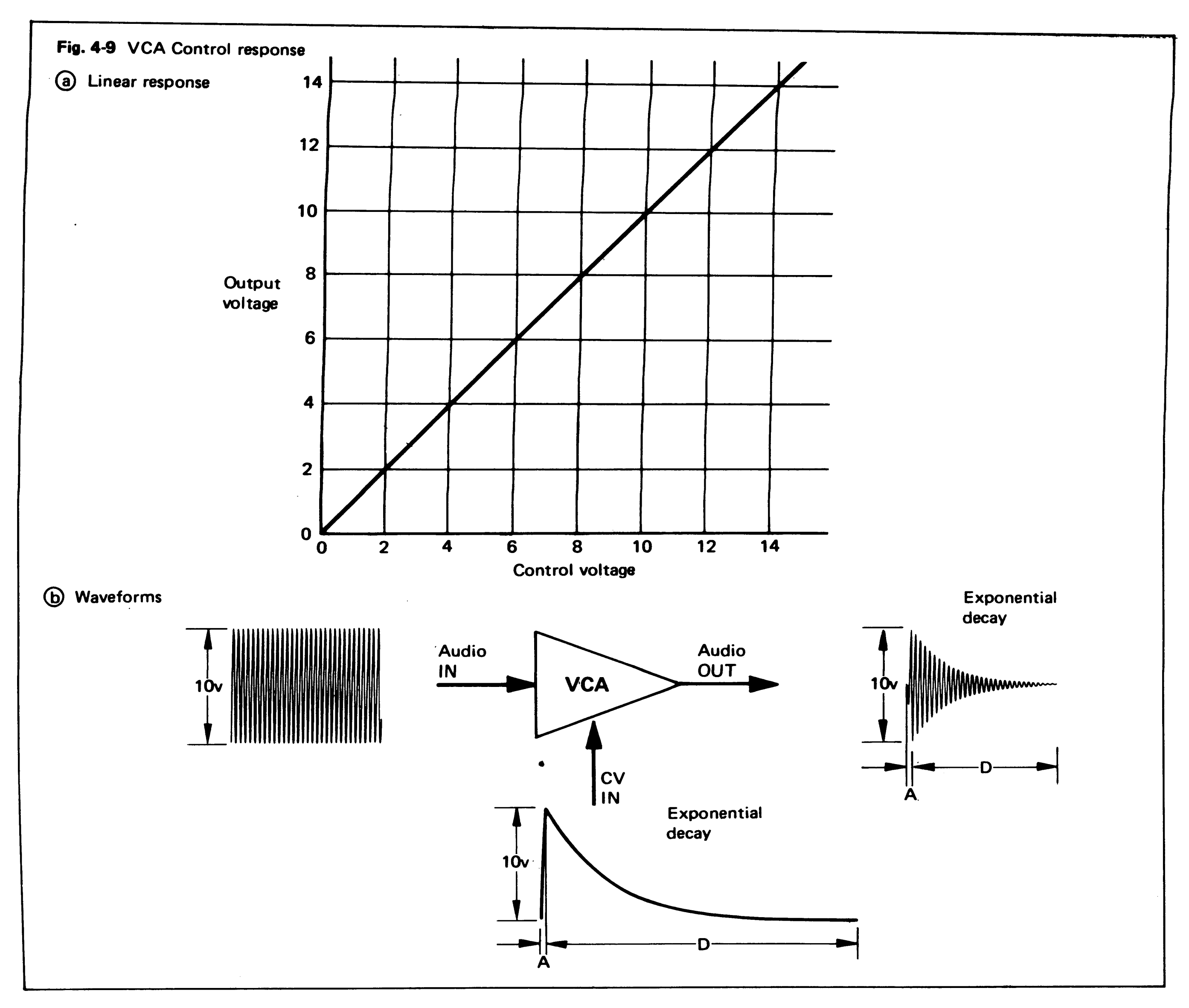


Fig. 4-8 Envolventes de sintetizador parecidos a los de un piano



El siguiente capítulo trata del control de timbre en la salida de sonido.

Fig. 4-9 Respuesta de control del VCO
a) respuesta lineal
tensión de salida
tensión de control
b) ondas
ENTRADA Audio
SALIDA Audio
ENTRADA CV
Atenuación exponencial

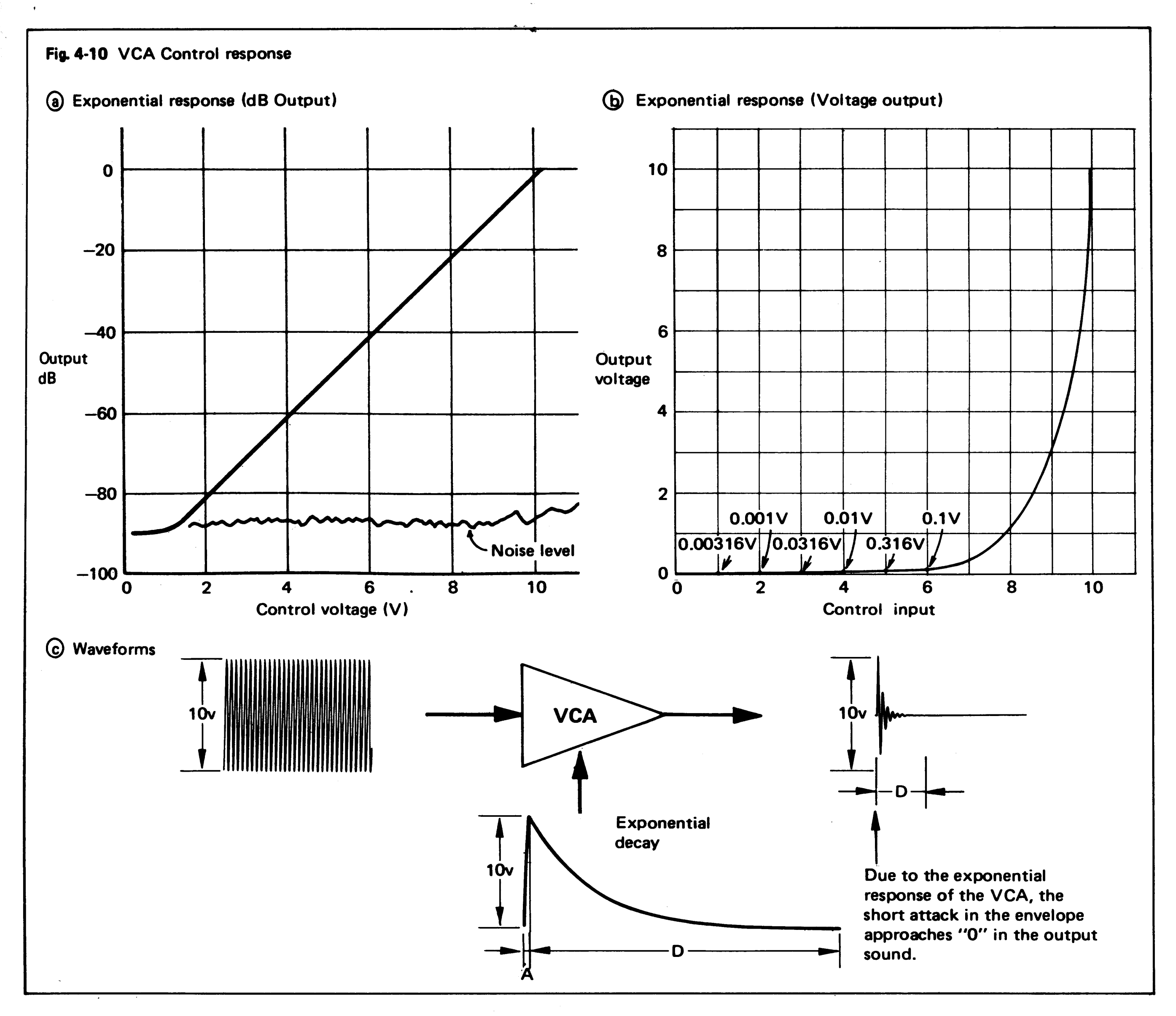


Fig. 4-10 Respuesta de control del VCA

a) respuesta exponencial (salida en dB)

b) respuesta exponencial (salida voltios)

salida en dB

salida en voltios

nivel de ruído

tensión de control (V)

entrada de control

c) ondas

atenuación exponencial

Debido a la respuesta exponencial del VCA el ataque breve en la envolvente se aproxima a "O" en el sonido de salida

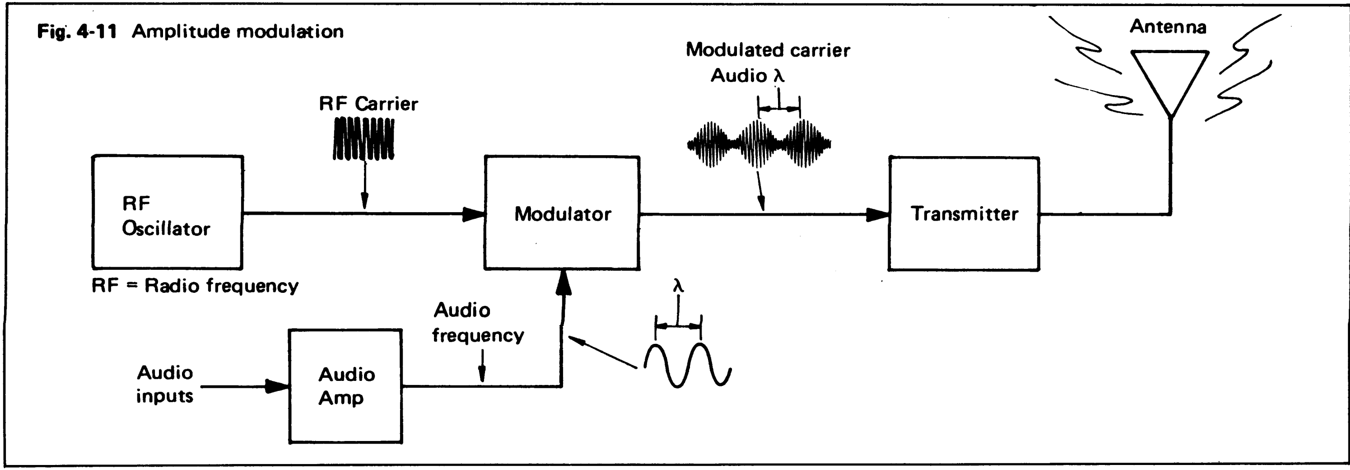


Fig. 4-11 Modulación en aplitud
Oscilador RF
RF = radiofrecuencia
portadora RF
modulador
portadora modulada, λ audio
transmisor
antena
entrada audio
amplificador audio
frecuencia audio

Fig. 4-12 LFO Modulation of VCA

VCO
VCF
VCA
OUT
Fixed voltage source (See text)
LFO

Fig. 4-12 Modulación de un VCA con un LFO
Fuente de tensión fija (véase texto)
SALIDA

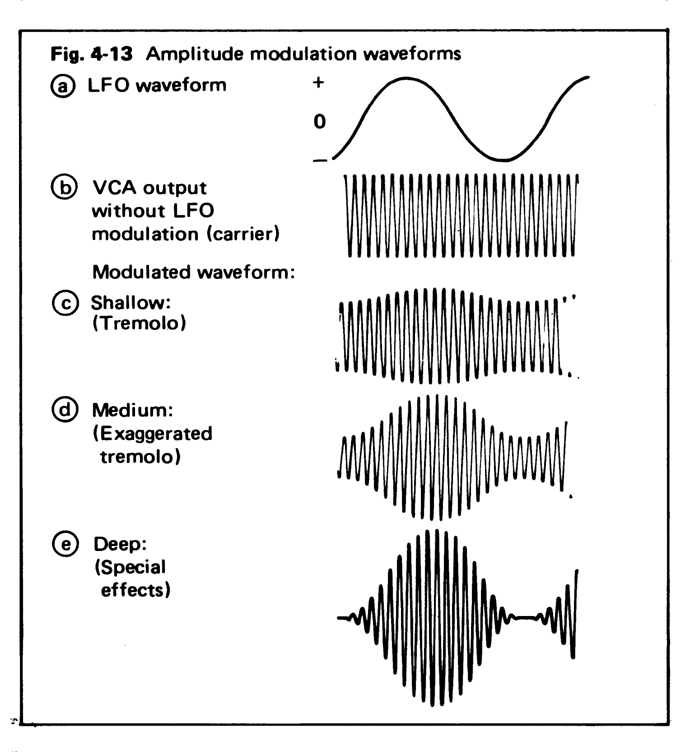


Fig. 4-13 Ondas con modulación en amplitud
a) onda LFO
b) salida VCA sín modulación LFO (portadora)
onda modulada
c) poco modulada (trémolo)
d) modulación media (trémolo exagerado)
e) muy modulada (efectos especiales)

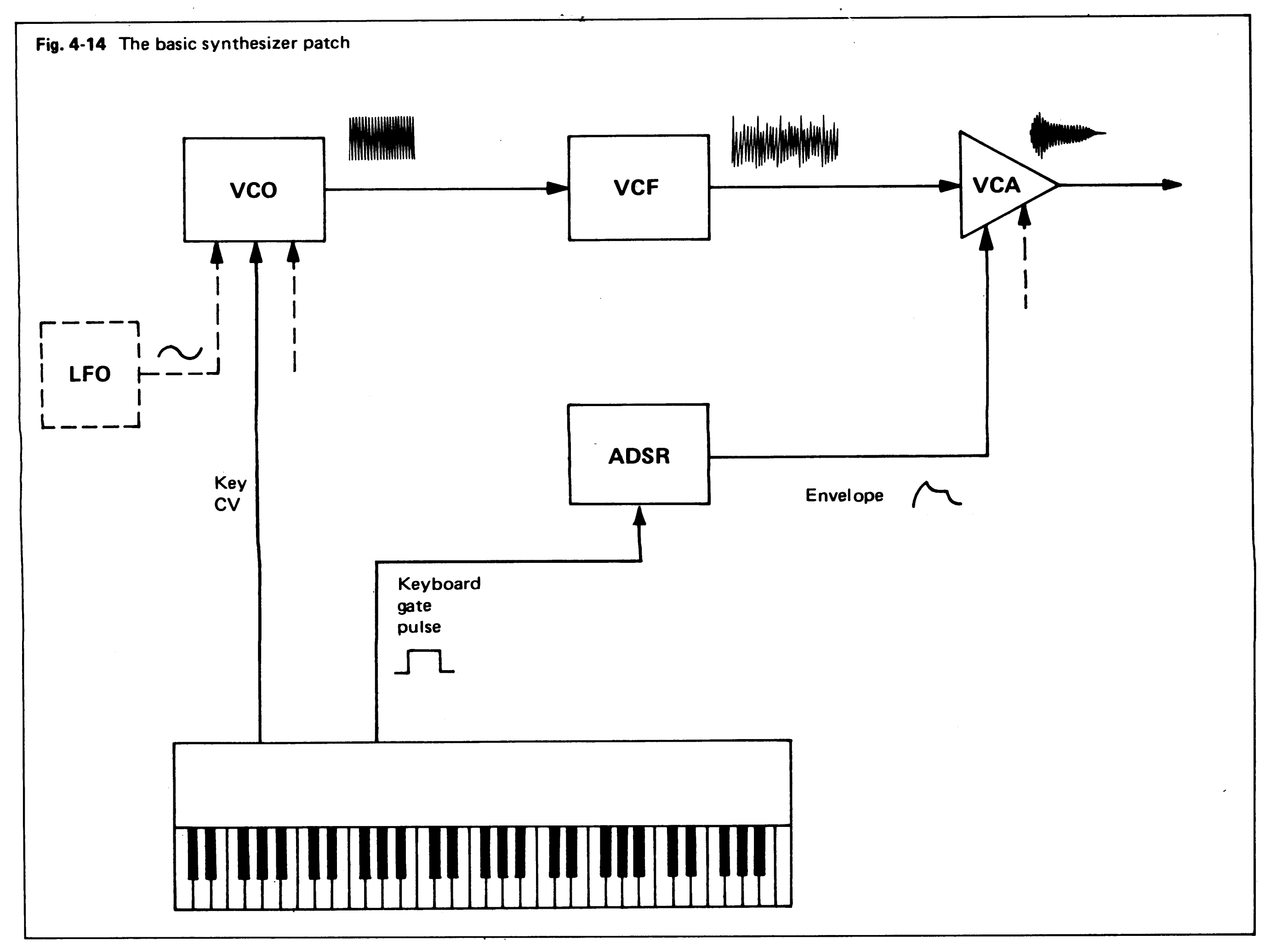


Fig. 4-14 Interconexión básica de un sintetizador
tecla CV
puerta
impulso puerta del teclado
envolvente

4 - 10 Cuestionario

1. ¿Cómo se mide el volumen?
2. Cuando se graba música electrónica ¿por qué tiene importancia monitorizar la música al mismo nivel que se espera reproducir la grabación terminada?
3. ¿Qué limita el margen dinámico en un determinado equipo electrónico tal como un magnetofón?
4. ¿Qué armónicos hay en una onda cuadrada? ¿Y en la onda triangular? ¿Cuál es la diferencia en el espectro armónico de ambas?
5. Dibuje la envolvente producida cuando se pulsa y se suelta una tecla en el piano. Dibuje la envolvente de un tono en un órgano. Denomine los diversos elementos del gráfico.
6. Si el control de sostenido se ajusta al máximo en un generador de envolventes, ¿qué efecto tendrá el control de atenuación? ¿Por qué?
7. Presente la onda de salida de un VCA lineal con una entrada sinusoidal controlada por una envolvente tipo piano. Presente la salida de un VCA exponencial en las mismas condiciones.
8. ¿Qué es modulación de amplitud?
9. ¿Qué es trémolo?
10. Dibuje un diagrama de una interconexión básica de sintetizador y explique cómo funciona.

Palabras a definir

ADSR
AM
amplificador controlado por tensión
atenuación exponencial
dB
dB SPL
decibelio
envolvente
fon
impulso puerta
intensidad (de sonido)
microbar (μ bar)
modulación en amplitud
nivel de presión acústica
onda triangular
sostenido (S)
SPL
tiempo de amortiguación (R)
tiempo de ataque (A)
tiempo de atenuación (D)
trémolo
umbral de audición
VCA exponencial
VCA lineal
volumen

CAPITULO 5
TIMBRE

5 - 1 Introducción

Timbre o **color tonal** es aquel elemento del sonido que nos permite distinguir entre dos fuentes emitiendo sonidos sostenidos con el mismo tono. El timbre generalmente se ve muy afectado por el tono y la envolvente y cuando se sintetizan sonidos es generalmente mejor dejar para el final el timbre.

5 - 2 Ruido

Todos los circuitos electrónicos generan una cierta cantidad de ruido y en la mayoría de los casos el ruido es indeseable. Sin embargo en música electrónica, frecuentemente, el ruido es el punto de partida para el timbre en la síntesis de sonidos sin tono definido o de elementos no tonales en un sonido. En música electrónica trabajamos con dos tipos de ruido: ruido blanco y ruido rosa.

Al igual que la luz blanca es una combinación de cantidades iguales de todos los colores, el **ruido blanco** es una combinación de cantidades iguales de todas las frecuencias audio y produce un sonido sibilante. Si se mira otra vez la fig. 3-7 se observará que el número de diferentes frecuencias contenidas en cada octava es doble al número contenido en la octava baja inmediata. Por ejemplo, la octava entre **la** (110 Hz) y **la** (220 Hz) contiene 110 frecuencias definidas (excluyendo las fracciones); la siguiente octava, la_3 (220 Hz) a la_4 (440 Hz) contiene el doble de frecuencias: 220. Cada octava sucesiva contiene doble número de frecuencias que la octava inmediatamente inferior. Doblar las frecuencias para cada octava significa un incremento en potencia de 3 decibelios por octava. Como hay más frecuencias agudas, éstas dominan en el resultado total dando una característica sibilante. Esto viene ayudado por el hecho que el oído es menos sensible a las frecuencias más bajas.

El ruido rosa es un ruido que contiene cantidades iguales de energía en cada octava. Como cada octava (más que cada frecuencia) tiene igual energía, este tipo de ruido suena a nuestros oidos como si tuviera una cantidad igual de todas las frecuencias y produce un sonido similar a una cascada.

5 - 3 Filtros

La principal **fuente** de timbre en un sintetizador controlado por tensión es el VCO, en el caso de sonidos con tono, y el generador de ruido para los sonidos sin tono definido. La principal fuente de **control** para las variaciones de timbre son los filtros, y entre ellos el más común es el **filtro controlado por tensión** o **VCF**.

En el capítulo 1 se mostró como un tubo resuena a varias frecuencias. Este hecho convierte al tubo en una especie de filtro acústico. Si hablamos frente al extremo de un tubo, la calidad de voz que saldrá del otro extremo será bastante diferente. La voz humana contiene una gran cantidad de frecuencias; cuando una o varias de estas frecuencias coinciden con cualquiera de las resonancias del tubo estas frecuencias están

acentuadas en el sonido de salida, exactamente de la misma manera que el sonido producido por un diapasón será acentuado cuando su frecuencia coincide con cualquiera de las resonancias del tubo. Por lo tanto el tubo, actuando como un filtro acústico, modifica el contenido armónico de cualquier sonido que pase a través de él.

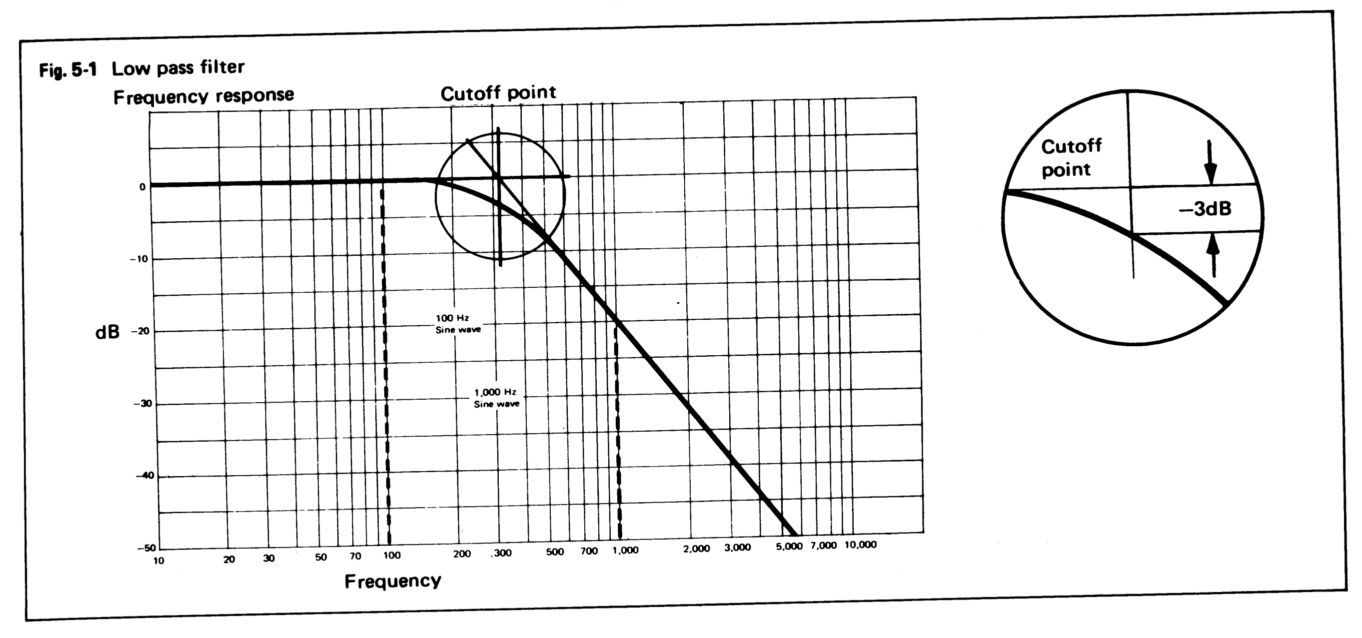
En este texto nos concentraremos principalmente en cuatro tipos fundamentales de filtros utilizados corrientemente en música electrónica: el filtro pasabajo (LPF), el filtro pasaalto (HPF), el filtro pasabanda (BPF) y el filtro de eliminación de banda. Los nombres llevan implícitas sus funciones. El filtro pasabajo deja pasar las bajas frecuencias, el filtro pasaalto deja pasar las altas frecuencias, y el filtro pasabanda deja pasar una banda o grupo de frecuencias mientras que el filtro de eliminación de banda elimina una banda o grupo de frecuencias. El tipo más común de VCF es el filtro pasabajo controlado por tensión. Este tipo de VCF es tan común que cuando oimos o vemos el término VCF es casi seguro que se trata de un filtro pasabajo. Muchos sintetizadores también disponen de un filtro pasaalto; en algunos sistemas este filtro pasaalto es controlado por tensión. Sistemas más potentes a veces también disponen de filtros pasabanda controlados por tensión.

5 - 4 El filtro pasabajo

La fig. 5-1 representa la respuesta de frecuencia de un determinado **filtro pasabajo** (LPF). El nivel de 0 dB es una referencia que represena el nivel normal de salida de filtro cuando una señal de un determinado nivel se aplica a la entrada. Los niveles reales obtenidos dependerán del diseño del filtro en particular. El sombreado muestra el campo y el nivel de frecuencias que pueden pasar por el filtro. Por ejemplo si aplicamos una onda sinusoidal de 100 Hz, de nivel correcto a la entrada del filtro, la salida será de 0 dB, es decir, normal. Si cambiamos la frecuencia de la onda sinusoidal a 1000 Hz, sin cambiar el nivel de entrada, la salida será de – 20 dB, o 20 dB por debajo del nivel de referencia de 0 dB. Otra vez, cambiando la frecuencia de la onda sinusoidal a 11.000 Hz, el nivel de salida estará por debajo de – 60 dB. Este nivel es tan bajo con respecto al nivel de referencia de 0 dB que podemos decir que la salida de la onda sinusoidal de 11.000 Hz no existe. En muchos filtros esto quedaría por debajo del umbral de ruido del filtro.

Para frecuencias más bajas la respuesta del filtro es plana; independientemente de la frecuencia de la onda sinusoidal de entrada, la salida será 0 dB suponiendo que el nivel de entrada no ha variado. Recuérdese que se precisa una diferencia de unos 3 dB antes de que el oido pueda detectar una diferencia en intensidad. Por esto una onda sinusoidal de unos 320 Hz (Fig. 5-3 (a)) que produce una salida de – 3 dB puede considerarse como el límite superior de la zona plana de respuesta. Este punto en la curva del filtro se denomina **punto de corte** o **frecuencia de corte**, cualquier frecuencia superior a esta frecuencia producirá un nivel de salida inferior a – 3 dB, o niveles no tan potentes como las frecuencias más bajas. En los filtros utilizados en música electrónica siempre se puede ajustar esta frecuencia de corte.

El gradiente de atenuación o pendiente del filtro es importante porque afecta los niveles relativos de las frecuencias por encima de la frecuencia de corte. La pendiente se mide determinando la cantidad de variación de nivel que se produce con una variación de frecuencia de una octava. Esta media se toma en una posición de la pendiente que sea representativa de toda ella. Es decir, midiendo la pendiente en el punto de corte no sería correcto ya que la pendiente presenta aquí una curvatura.



Por encima de 500 Hz (fig. 5-1) la pendiente forma una línea prácticamente recta. Para una entrada de una onda sinusoidal de 1000 Hz, el nivel de salida es de – 20 dB. Una onda sinusoidal una octava más alta, 2000 Hz, produciría una salida de – 32 dB, un nivel de salida que es 12 dB inferior a la primera onda sinusoidal. La pendiente del filtro es por lo tanto – 12 dB/8va (–12 decibelios por octava). El signo menos indica que la pendiente cae con un incremento de frecuencia. Un signo positivo indicaría que la pendiente es ascendente con un incremento en frecuencia. Los filtros más comunes, por lo menos por lo que se refiere a la música electrónica, son – 3 dB, – 6 dB, – 12 dB, y – 24 dB por octava. El ruido rosa generalmente se obtiene pasando el ruido blanco a través de un filtro pasabajo de – 3 dB/8va (fig. 5-2). – 12 dB/8va y – 24 dB/8va son las pendientes más comunes en filtros controlados por tensión.

Fig. 5-1 Filtro pasabajo
respuesta de frecuencia
frecuencia de corte
onda sinusoidal 100 Hz
onda sinusoidal 1000 Hz
frecuencia

La fig. 5-3 representa la respuesta de frecuencia de lo que podría llamarse un filtro pasabajo perfecto, porque todas las frecuencias por encima de la frecuencia de corte dejan de existir en el sonido resultante y todas las frecuencias por debajo de la frecuencia de corte, están al nivel 0 dB de referencia. En el caso de la música electrónica probablemente este tipo de filtro sea indeseable.

Hasta aquí hemos estudiado sólo los efectos de un filtro pasabajo con ondas sinusoidales de unas determinadas frecuencias. En síntesis por eliminación generalmente estamos más interesados en los efectos de filtraje sobre ondas ricas en armónicos. La fig. 5-4 (a) repite el espectro de la onda en diente de sierra. Supongamos una onda en diente de sierra con un tono la$_2$ (espacio inferior de la clave de fa) que pasa por un filtro pasabajo con su frecuencia de corte a unos 300 Hz. Los resultados se pueden obtener superponiendo el espectro de la onda en diente de sierra y la curva de respuesta de frecuencia del filtro tal como se presenta en la fig. 5-4 (b). Como comparación, las líneas a trazos muestran los niveles que los armónicos alcanzarían sin filtraje. Como se puede ver, el primer armónico no se ve afectado, pero todos los otros armónicos son más o menos atenuados. Se observará en (a) que el nivel normal del cuarto armónico en la onda en diente de sierra es – 12 dB con relación al fundamental. De acuerdo a la curva de respuesta del filtro el nivel de salida de una onda sinusoidal de 440 Hz (frecuencia del cuarto armónico) sería – 6 dB y su nivel será de – 18 dB. Los niveles de los otros armónicos se ven afectados de forma similar. Como los niveles de los armónicos en la onda

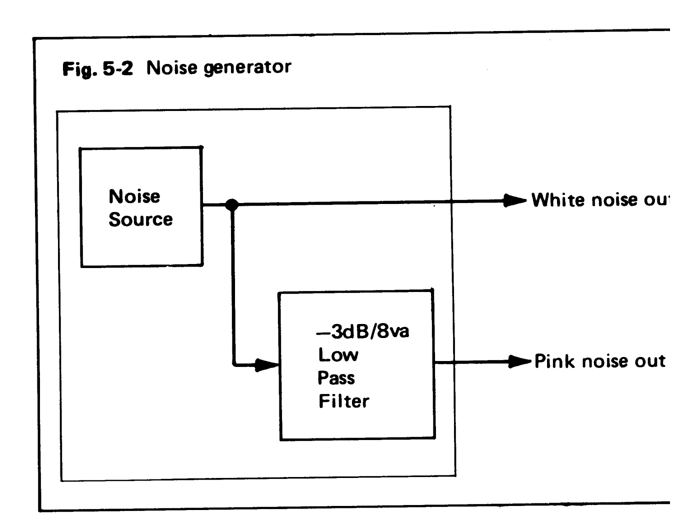


Fig. 5-2 Generador de ruido
Fuente de ruido
Filtro pasabajo 3 dB/8va
Salida ruido blanco
Salida ruido rosa

en diente de sierra son diferentes de los niveles originales, el timbre y la forma de onda también serán distintos (los efectos del filtraje de ondas se estudiarán con detalle más adelante en 5-8).

5 - 5 El filtro pasabajo controlado por tensión

Se puede observar en la fig. 5-4 (b) que en tanto se mantiene fija la frecuencia de corte del filtro, el contenido armónico del sonido de salida sólo se mantendrá fijo si el tono de la onda en diente de sierra se mantiene fijo. Cambiando el tono de la onda en diente de sierra desplazará el espectro a la derecha o a la izquierda en relación con la curva de respuesta del filtro y por lo tanto cambia el contenido armónico del sonido de salida. Es decir si se toca una escala cromática se producirán notas teniendo cada una de ellas un timbre distinto. Si tocamos la nota la_5 (880 Hz) (una línea por encima de la clave de sol), el nivel del fundamental habrá bajado más de 15 dB. A mayor frecuencia se reducirá considerablemente el nivel del sonido de salida.

Como el control de AFINACION del VCO, el control de la FRECUENCIA DE CORTE DEL VCF fija el punto de corte inicial que a continuación puede ser alterado con tensiones de control aplicados externamente. Si utilizamos la salida de tensión del teclado para controlar la frecuencia de corte del VCF es fácil conseguir que la frecuencia de corte de filtro siga al tono. En el ejemplo dado arriba, en 5-4, la frecuencia de corte se situó aproximadamente a la altura de la frecuencia del tercer armónico de la onda en diente de sierra la_2 (110 Hz). Aplicando la tensión de control de nota al VCF es posible que la frecuencia de corte se desplace con el tono y por lo tanto puede permanecer en el punto aproximado que representa el tercer armónico de cualquier tono que se pulse. De esto lógicamente se deduce que sería esencial que el VCF tenga la misma relación tensión/frecuencia que el VCO. Si una variación de 1 voltio hace variar el tono del VCO en 1 octava, también debe variar la frecuencia de corte del VCF en una octava. Con esta relación el VCF puede seguir exactamente cualquier variación de tono en la melodía que se interprete.

El timbre de la mayoría de los instrumentos varía con el tono. Generalmente los tonos agudos son más brillantes que los tonos graves. Como los armónicos agudos de alto nivel producen un timbre brillante esto parece implicar que si se toca la escala cromática ascendente en el teclado, en lugar de seguir exactamente el tono de la música, la frecuencia de corte del VCF realmente tendría que anticiparse al tono adelantándose más de lo normal, de forma que permita que pasen más armónicos. En lugar de 1V/8va es posible que una variación de dos octavas en la frecuencia de corte por 1 voltio de variación en la tensión de control de tono sería el adecuado. En la práctica, debido a las peculiaridades de nuestra audición esto no es necesario. Experimentalmente se observará que si se atenúa la tensión de control de tono aproximadamente en una mitad, el timbre del sonido de salida parecerá a nuestros oídos que mantiene un contenido armónico constante. Si no se atenúa la tensión de control de tono el timbre parecerá que se hace más brillante a medida que los tonos sean más agudos. Por lo tanto sigue válida una respuesta de 1V/8va.

*El timbre de muchos instrumentos, particularmente los ins-*trumentos de viento y las cuerdas pulsadas, varía durante la emisión de cada nota. Esto puede ser imitado utilizando un generador de envolvente para hacer que varíe la frecuencia de corte del VCF. A menudo la misma envolvente que se utiliza para controlar el VCA también puede ser utilizada para

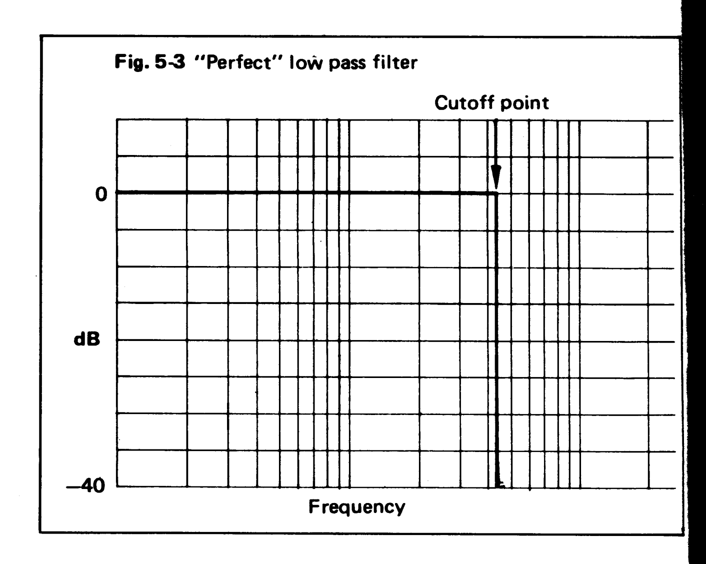
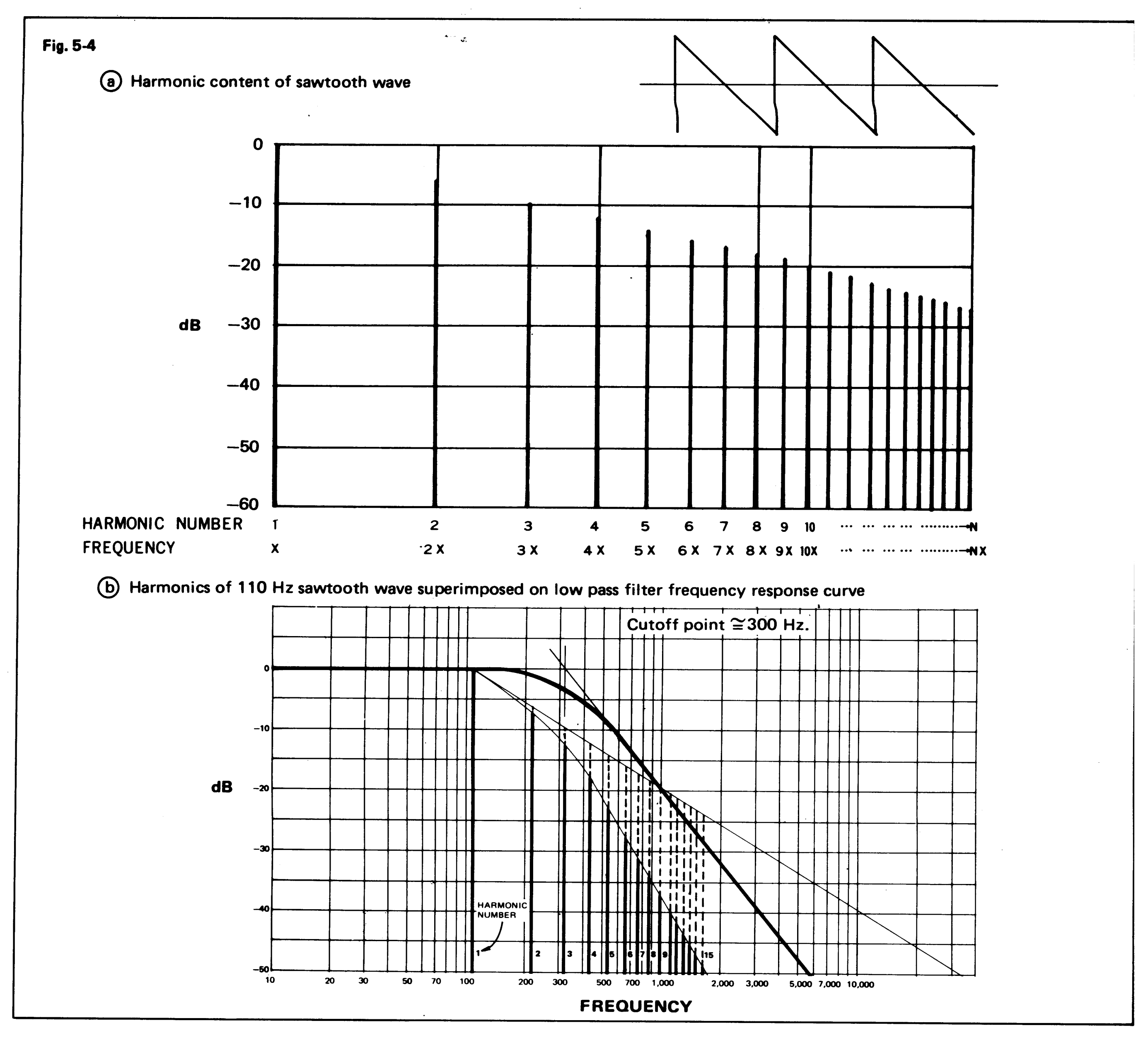


Fig. 5-3 Filtro pasabajo "perfecto"
Frecuencia de corte
Frecuencia



controlar el VCF. En otros casos es ventajoso utilizar un segundo generador de envolvente de forma que el barrido de los armónicos sea independiente de la envolvente de volumen. Algunos sintetizadores permiten la inversión de la envolvente de forma que los armónicos pueden barrer en el sentido contrario de lo que normalmente cabe esperar.

Otra fuente común de modulación para el VCF es el LFO que produce una ondulación de timbre llamada **zumbido**.

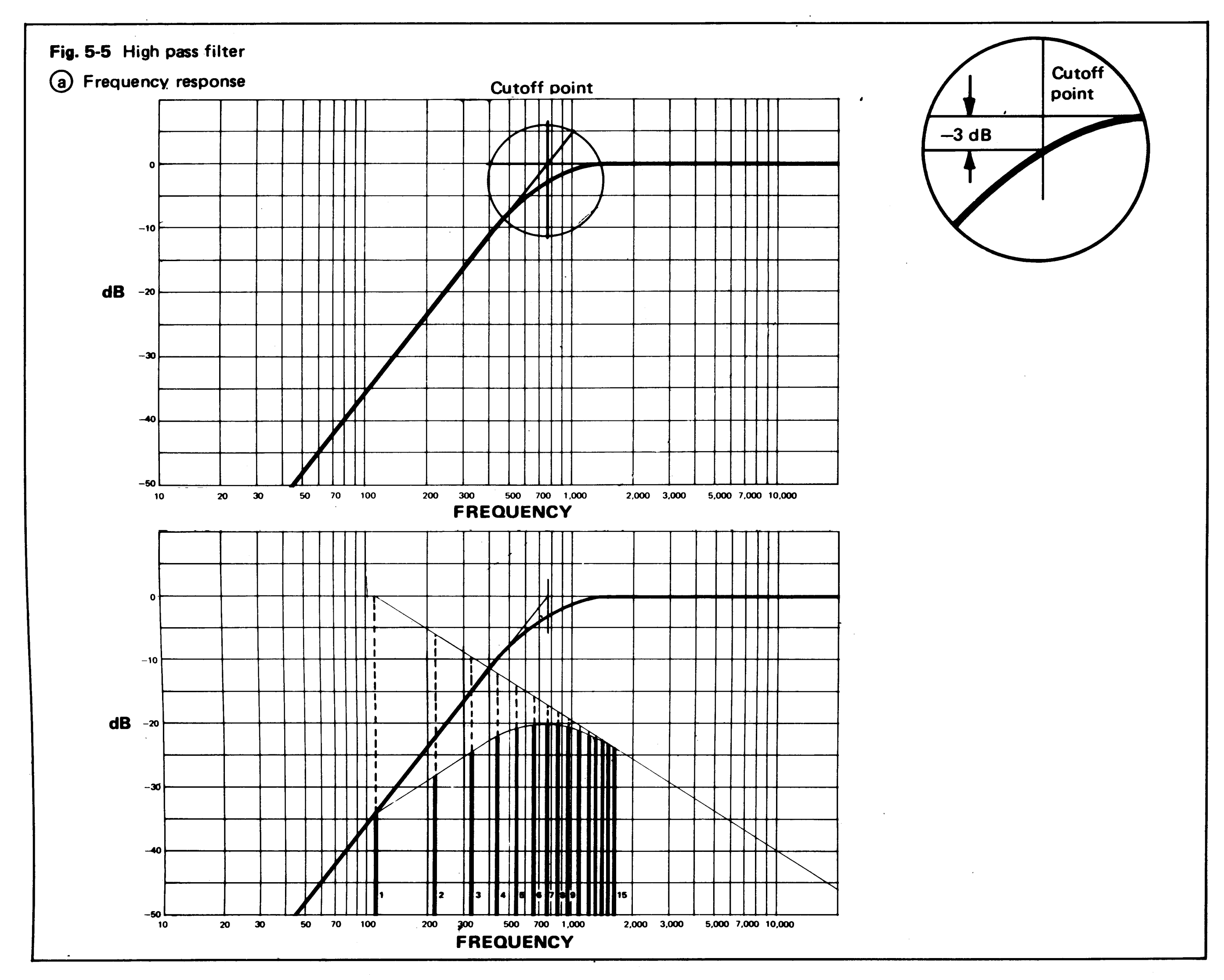
Fig. 5-4

a) espectro armónico de la onda en diente de sierra
NUMERO ARMONICO
FRECUENCIA

b) El espectro armónico de una onda en diente de sierra de 110 Hz superpuesto a la curva de respuesta de frecuencia de un filtro pasabajo
Frecuencia de corte
NUMERO ARMONICO
FRECUENCIA

5-6 El filtro pasaalto

El **filtro pasaalto** (HPF) puede considerarse como la copia especular del filtro pasabajo. La fig. 5-5 (a) representa la respuesta de frecuencia de un filtro pasaalto con una pendiente de 12 dB/octava. En (b) se muestra el espectro de una onda en diente de sierra superpuesta a la curva de respuesta del filtro. En este ejemplo la frecuencia de la onda en diente de sierra es de 110 Hz y la frecuencia de corte del filtro es aproximadamente 770 Hz, la frecuencia del séptimo armónico es el más potente mientras que el fundamental está atenuado en 35 dB. El tercer armónico normalmente es 9,5 dB inferior al fundamental. Está atenuado 15 dB debido a la pendiente del filtro, de forma que su nivel pasa a ser −24,5 dB.



Experimentalmente se ha demostrado que si el oído escucha simultáneamente una serie de sobretonos que caen dentro de la serie armónica natural oirá el fundamental aunque éste esté ausente en la serie. Esto explica el tono de 16 Hz en un órgano en la fig. 1-2, que se halla por debajo del espectro normal de frecuencias audibles, el oído percibe todos los armónicos que están dentro de su espectro normal y "mentalmente" suministra el fundamental que es demasiado grave para ser audible. Este fenómeno también explica el por qué un sonido con mucho filtraje generalmente no pierde el sentido del fundamental.

Fig. 5-5 Filtro pasaalto
a) respuesta de frecuencia
b) El espectro armónico de una onda en diente de sierra de 110 Hz superpuesto a la curva de respuesta de frecuencia de un filtro pasaalto
frecuencia de corte
FRECUENCIA

Como los filtros pasaalto bloquean las frecuencias más bajas, generalmente se utilizan para dar más brillo a los sonidos sintetizados. Algunos sintetitzadores incluyen filtros pasaalto controlados por tensión.

5 - 7 El filtro pasabanda y el filtro de eliminación de banda

El **filtro pasabanda** (BPF) deja pasar una banda o grupo de frecuencias. El filtro pasabanda medio presenta una banda estrecha tal como se representa en la curva de la fig. 5-6, siendo las únicas diferencias las pendientes. En este ejemplo, la frecuencia central del filtro es 1000 Hz, de forma que serán atenuadas las frecuencias superiores e inferiores. La respuesta para un filtro pasabanda se muestra en (b) (página siguiente). En este filtro la respuesta entre los límites superior e inferior es plana. Un filtro pasabanda de este tipo se puede obtener conectando en serie un filtro pasabajo y un filtro pasaalto tal

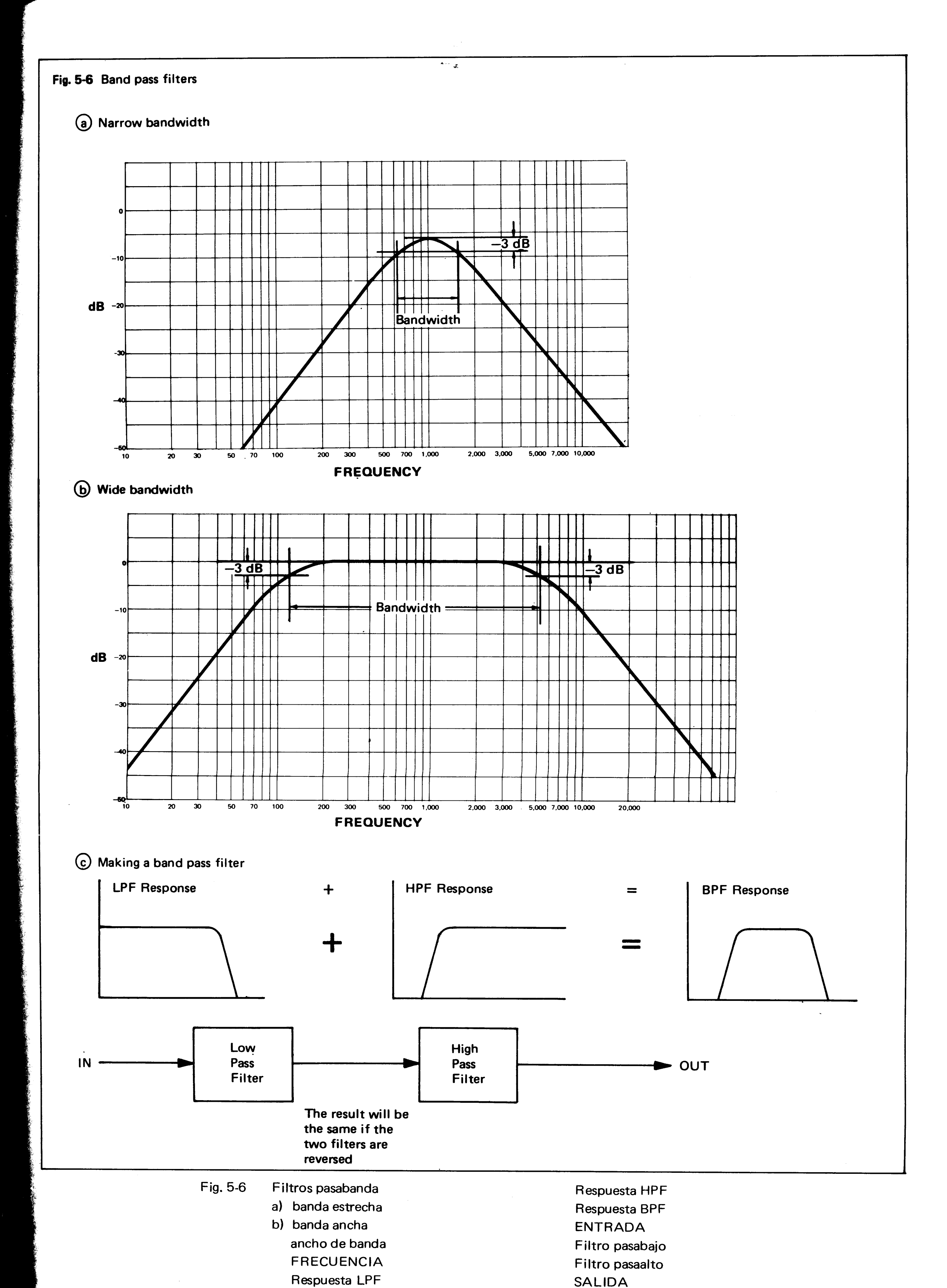


Fig. 5-6 Filtros pasabanda
a) banda estrecha
b) banda ancha
ancho de banda
FRECUENCIA
Respuesta LPF
c) construcción de un filtro pasabanda

Respuesta HPF
Respuesta BPF
ENTRADA
Filtro pasabajo
Filtro pasaalto
SALIDA
El resultado será el mismo si los dos filtros se invierten

como se presenta en (c). En este caso el control de los límites superior e inferior son independientes entre sí de forma que los límites pueden ser ajustados en cualquier punto.

El **filtro de eliminación de banda** es una inversión del filtro pasabanda tal como se representa en la fig. 5-7 y puede ser obtenido conectando en paralelo un filtro pasabajo con un filtro pasaalto tal como se representa en (c).

5 - 8 Efecto del filtraje sobre la forma de onda

Es interesante mostrar el efecto que el filtraje tiene sobre una onda. Para hacer esto es ideal una onda cuadrada porque contiene componentes tanto de alta como baja frecuencia. Las altas frecuencias se caracterizan por cambios rápidos en el nivel de tensión. En la onda cuadrada "perfecta", los segmentos verticales representarían variaciones instantáneas de tensión, algo imposible ya que equivaldría a una frecuencia infinita. Incluso una onda cuadrada media, producirá segmentos verticales que serían equivalentes a frecuencias muy elevadas. Las frecuencias bajas se caracterizan por variaciones lentas (desde el punto de vista audio) de tensión. Los segmentos horizontales de la onda cuadrada "perfecta" equivaldrían a cero herzios (tensiones sin variaciones).

La fig. 5-8 (b) muestra lo que sucede con una onda cuadrada cuando pasa a través del filtro pasabajo. El filtro pasabajo puede considerarse lento y perezoso, tendiendo a oponer resistencia a las variaciones rápidas. Esta tendencia hace que la salida del filtro se retrase en los cambios rápidos de la onda cuadrada y por lo tanto suaviza los ángulos de la onda cuadrada. Cuanto más baja sea la frecuencia de corte de filtro en relación a la frecuencia de la onda cuadrada, más pronunciada sería esta suavización de la componente de alta frecuencia de los segmentos verticales. Obsérvese que con una frecuencia de corte baja con relación a la frecuencia de entrada, la onda cuadrada empieza a tener el aspecto de una onda triangular o sinusoidal lo que significa que se suprimen los armónicos superiores.

La fig. 5-8 (c) representa lo que sucede con una onda cuadrada cuando pasa a través de un filtro pasaalto. El filtro pasaalto puede reaccionar con rapidez a los cambios bruscos en una onda pero se puede considerar que es pobre en mantener los niveles constantes tal como los segmentos horizontales de una onda cuadrada. Como estos segmentos horizontales no pueden sostenerse tienden a decaer hacia el nivel cero, cuanto más alta sea la frecuencia de corte del filtro con mayor rapidez tenderán estos niveles horizontales a decaer a cero. Con una frecuencia de corte muy alta el filtro produce una onda con puntas muy pronunciadas sólo para el segmento vertical de alta frecuencia de la onda cuadrada y bloquea todas las componentes de baja frecuencia del segmento horizontal.

La salida de control de tensión del teclado se parece mucho a una onda cuadrada de forma que cuando se pulsan una serie de tonos la tensión de salida da unos saltos rápidos ascendentes o descendentes para cada nuevo nivel. La fig. 5-9 (a) representa la salida de tensión de control para una escala cromática. En (b) se muestra lo que sucede a esta tensión de control cuando añadimos el efecto de **portamento**. Esto demuestra que los circuitos de portamento no son más que filtros pasabajo aplicados a la salida de tensión del teclado. Si tocamos un trino en el teclado la salida de tensión será una onda cuadrada de baja frecuencia. Utilizando diversos grados de portamento se producirán ondas tal como se representan en la fig. 5-8 (b), siendo la única diferencia que las frecuencias serán menores. La frecuencia producida por un trino muy rápido en el teclado general-

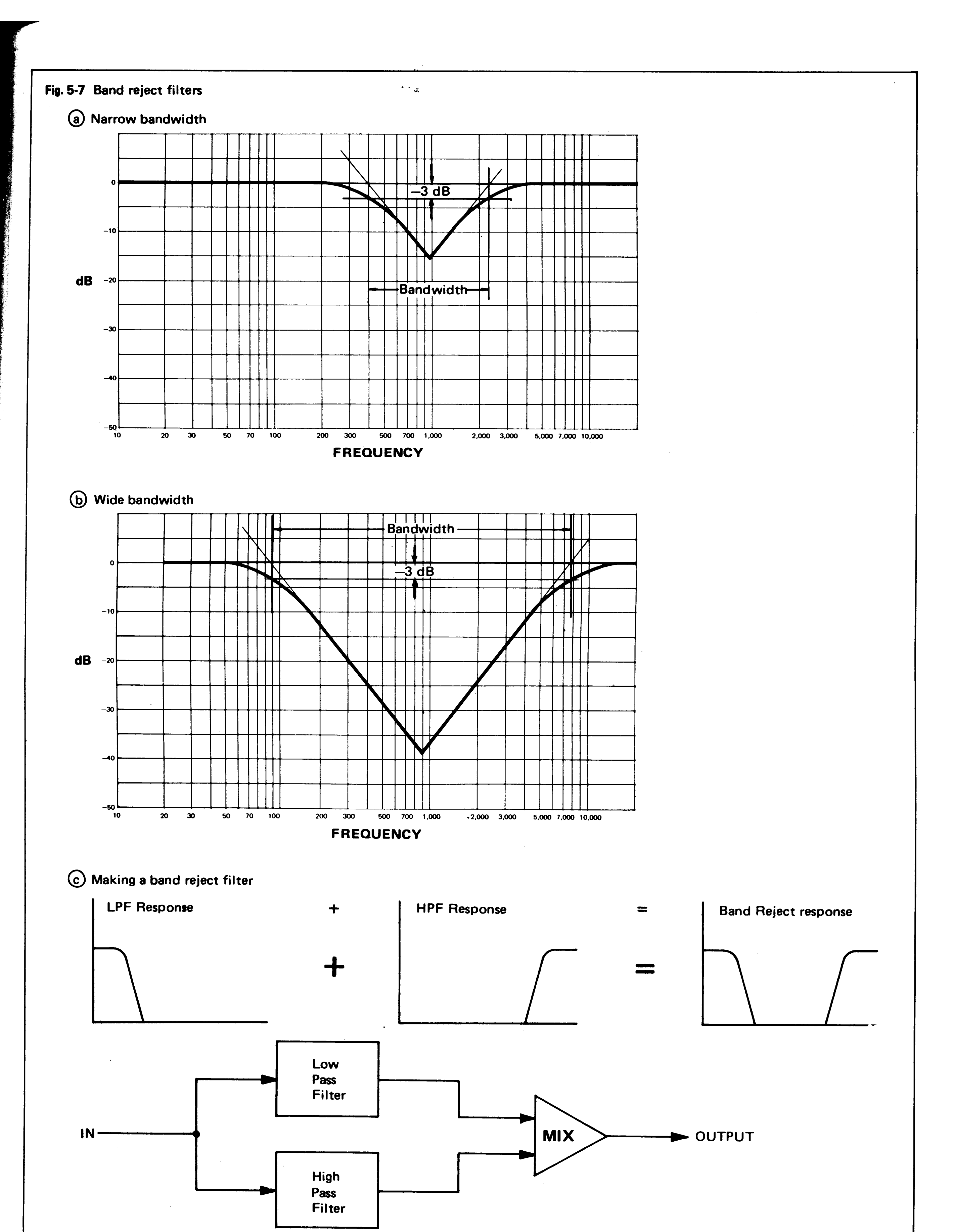


Fig. 5-7 Filtros de eliminación de banda

a) banda estrecha

b) banda ancha

Ancho de banda

FRECUENCIA

c) construcción de un filtro de eliminación de banda

Respuesta LPF

Respuesta HPF

Respuesta de eliminación de banda

ENTRADA

Filtro pasabajo

Filtro pasaalto

MEZCLADOR

SALIDA

mente es muy baja comparada con las frecuencias audio normales. La mayoría de los filtros, excepto aquéllos que están diseñados para producir efectos de portamento, tienen un límite inferior de frecuencia que sería muy superior a estas "frecuencias" del teclado, de forma que incluso un filtro pasabajo actuaría como un filtro pasaalto para la salida de tensión de control del teclado.

5 - 9 Resonancia en filtros

En electrónica la realimentación (feedback) es la alimentación de una parte de la señal de salida de un aparato a la entrada del mismo aparato. El resultado dependerá si la realimentación es positiva o negativa.

En el caso de **realimentación negativa**, la polaridad o fase de la señal de realimentación es opuesta a la polaridad o fase de la señal de entrada; el resultado es una amortiguación de la señal de entrada. Muchos amplificadores de audio utilizan internamente la realimentación negativa. La realimentación negativa tiende a eliminar la distorsión y el ruido de fondo que se produce en el circuito del amplificador, por lo tanto mejora la calidad de la reproducción.

En el caso de **realimentación positiva**, la señal de realimentación es de la misma polaridad o fase que la señal de entrada. La señal de realimentación refuerza la señal de entrada. Puede suceder que esta señal de realimentación positiva refuerce tanto la entrada que se produzca una **autooscilación**. El ejemplo típico de este fenómeno es el chillido que produce un sistema microfónico en una sala donde el sonido del altavoz se realimenta a través del micrófono y es amplificado una y otra vez. Muchos tipos de osciladores electrónicos utilizan la realimentación positiva para producir oscilaciones.

La resonancia en los filtros se produce induciendo una realimentación positiva. En muchos filtros, especialmente, en los controlados por tensión, se puede ajustar el grado de realimentación. Este control puede marcarse como RESONANCIA, ENFASIS o simplemente "Q" ("Q" es un factor utilizado para medir resonancias en circuitos), pero todos ellos representan la misma función.

La fig. 5-11 muestra un diagrama simplificado de cómo se aplica la realimentación a un filtro controlado por tensión. Para frecuencias en el punto de corte de este filtro, en particular, la salida está exactamente en oposición de fase con la entrada. El inversor en el circuito de realimentación invierte la onda de salida de forma que queda en fase con la entrada para producir una realimentación positiva. El control de resonancia determina el nivel de la señal que pasa a través del circuito de realimentación. La fig. 5-12 muestra la curva de respuesta que resulta de tres posiciones distintas del control de resonancia. El pico que sube por encima de la línea de 0 dB es el resultado del refuerzo de las frecuencias en el punto de corte del filtro debido a la realimentación positiva. Otras frecuencias producen situaciones de fase diferentes. Por ejemplo, para frecuencias muy por debajo de la frecuencia de corte del filtro, la fase de salida es la misma que la fase de entrada. El inversor hace que esto se transforme en realimentación negativa, en cierto grado, dependiendo de la cantidad de resonancia. Esto tiende a amortiguar estas frecuencias. Este es el motivo por el cual las frecuencias por debajo de la frecuencia de corte tienen un nivel de salida inferior al normal. La fig. 5-13 muestra el efecto de la resonancia en el aspecto de una onda en diente de sierra.

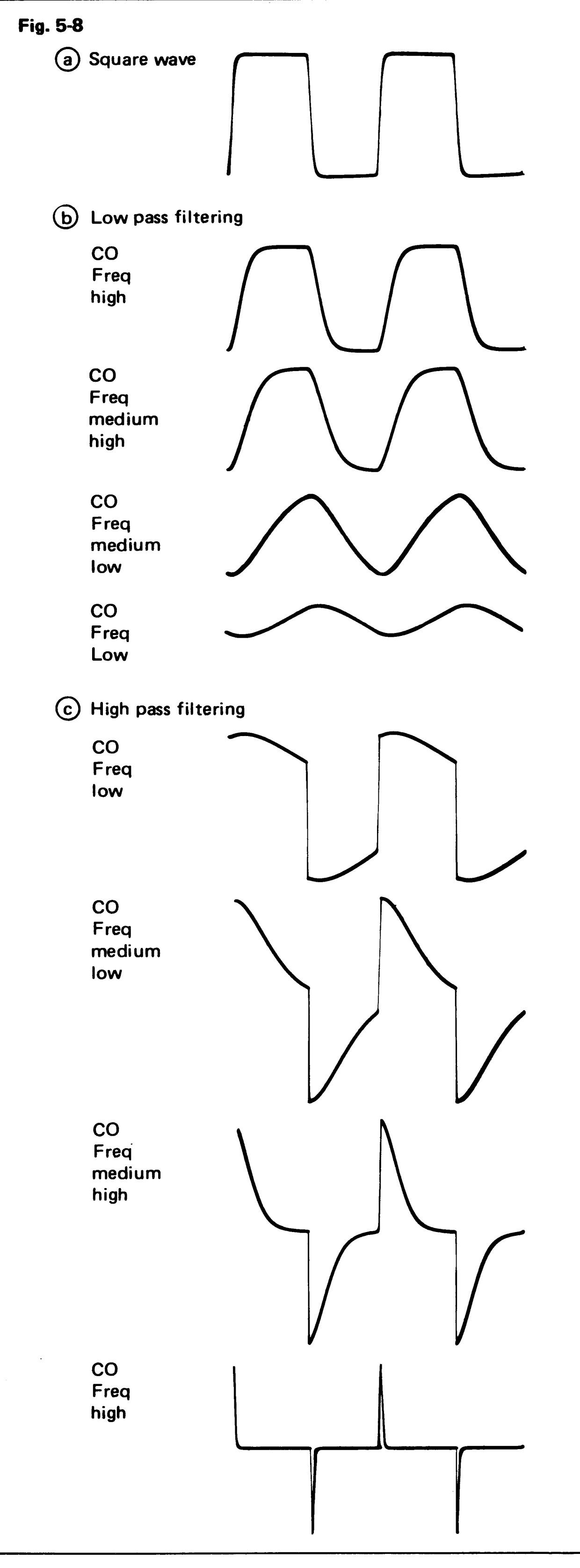


Fig. 5-8

a) Onda cuadrada
b) Filtraje pasabajo
   Frecuencia de corte elevada
   Frecuencia de corte intermedia elevada
   Frecuencia de corte intermedia baja
   Frecuencia de corte baja
c) Filtraje pasaalto
   Frecuencia de corte baja
   Frecuencia de corte intermedia baja
   Frecuencia de corte intermedia alta
   Frecuencia de corte alta

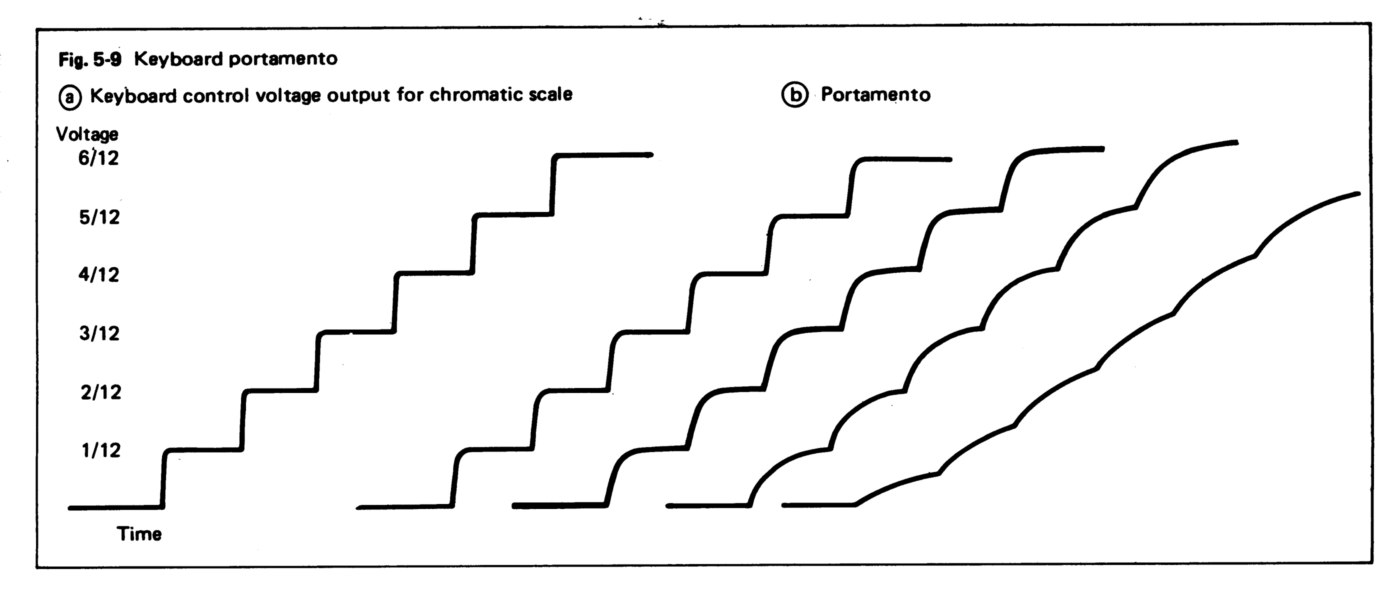


Fig. 5-9 Portamento del teclado
a) salida del control de tensión del teclado para una escala cromática
b) Portamento
Tensión
Tiempo

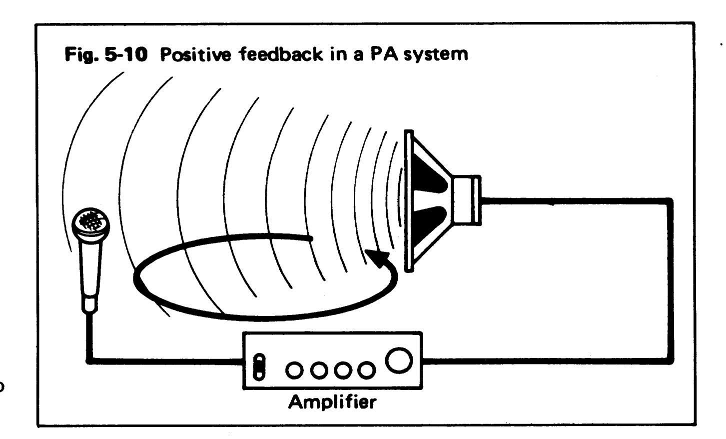


Fig. 5-10 Realimentación positiva en un sistema microfónico
Amplificador

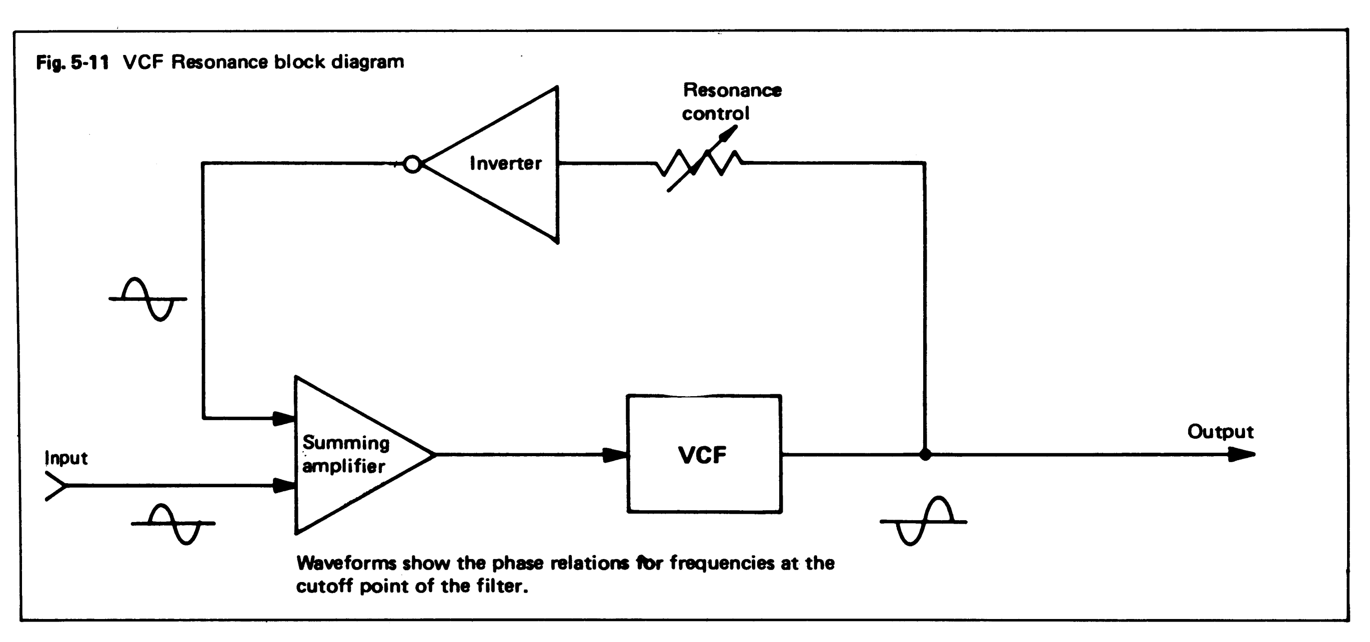
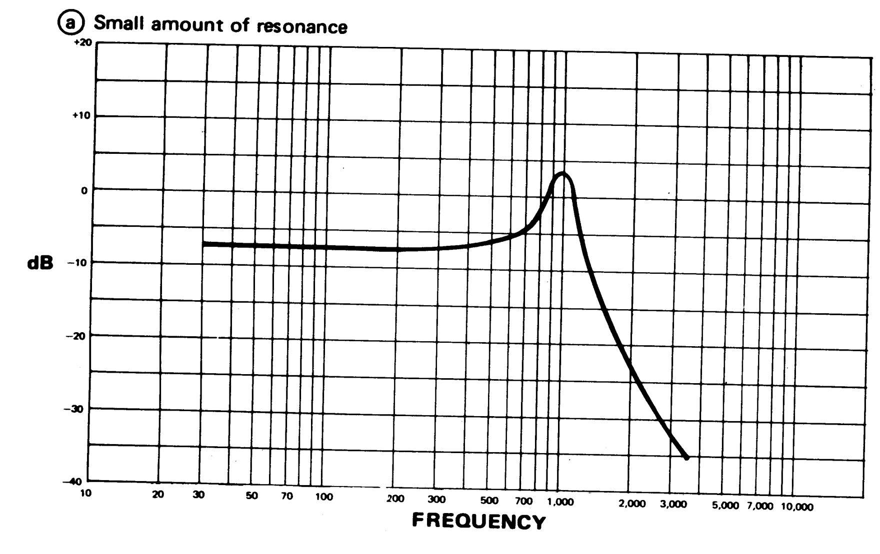


Fig. 5-11 Diagrama de resonancia de un VCF
Entrada
Sumador
Inversor
Control de resonancia
Salida
Las ondas muestran las relaciones de fase para las frecuencias que coinciden con la frecuencia de corte del filtro

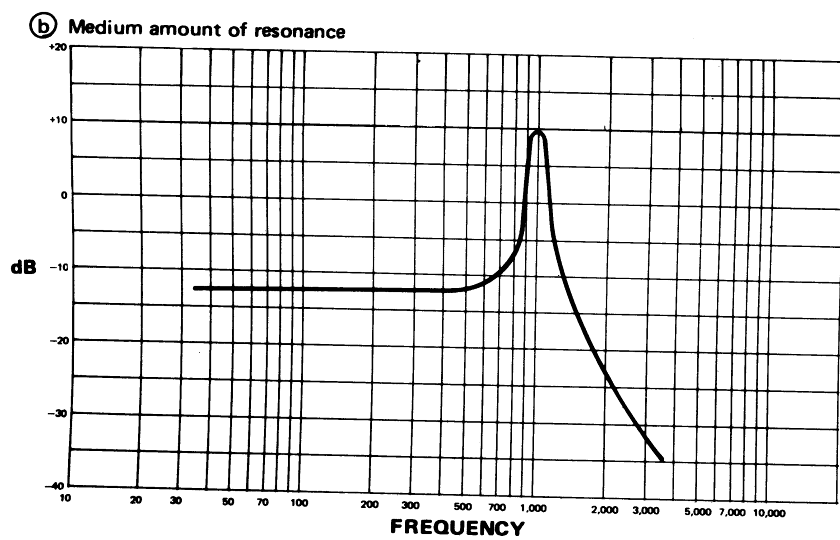


Fig. 5-12 VCF (Low pass) resonance

ⓐ Small amount of resonance



ⓑ Medium amount of resonance



ⓒ Large amount of resonance
(But not enough to produce oscillations).

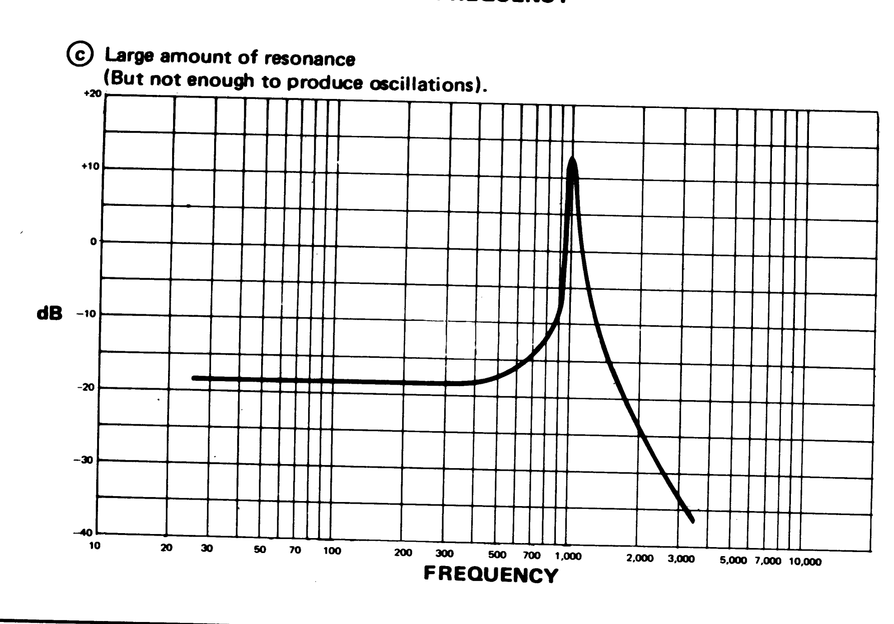


Fig. 5-12 Resonancia VCF (pasabajo)
a) poca resonancia
b) resonancia intermedia
c) alta resonancia (no suficiente para producir oscilaciones)
FRECUENCIA

5 -

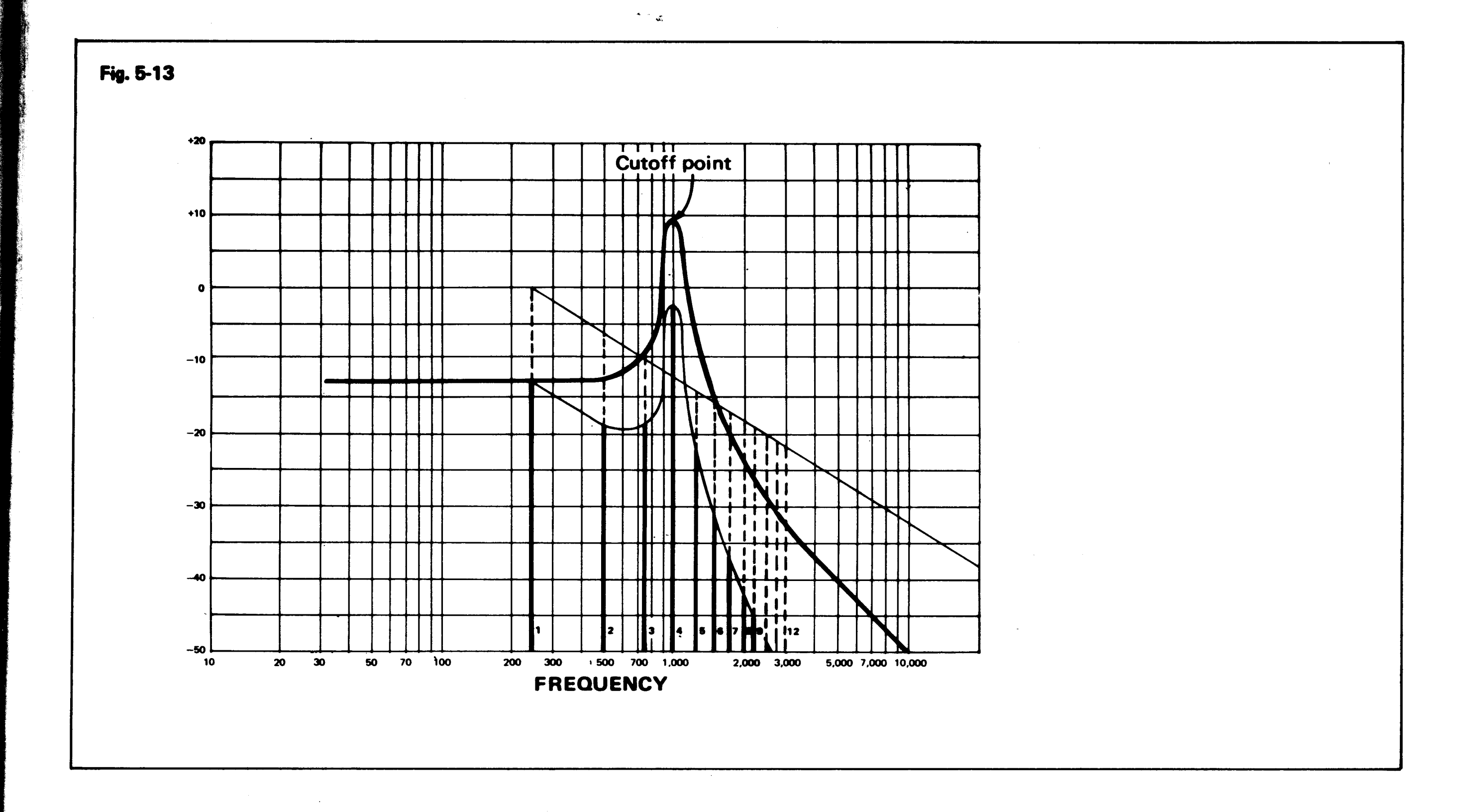


Fig. 5-13

Si el nivel de realimentación (control de resonancia) se incrementa por encima de un cierto punto, el filtro llegará a la auto-oscilación (haya o no señal en la entrada). Como la frecuencia de corte del filtro es la única frecuencia que produce una realimentación positiva exactamente en fase con la señal de entrada, la salida de frecuencia de un VCF oscilante será la de la frecuencia de corte del filtro. La onda de salida será una sinusoidal. Si el filtro está diseñado para una respuesta de control de 1V/8va y el filtro está calibrado con precisión, es posible utilizar la tensión de control del teclado para controlar la frecuencia de corte de filtro y por lo tanto la frecuencia o tono, de forma que se pueden tocar melodías.

5·10 Fenómeno de Ondulación en filtros

En el Capítulo 1 se dijo que: la resonancia se produce siempre que un cuerpo o sistema se pone vibración a su frecuencia natural propia a resultas de impulsos recibidos de un cuerpo o sistema que vibra a la misma frecuencia. Volviendo a la analogía del columpio, si el columpio cuelga sin movimiento y se da un solo impulso o empujón el columpio empezará a oscilar a su frecuencia natural o período y después se atenuará lentamente hasta quedar completamente parado. Un filtro con resonancia reacciona de la misma manera a los impulsos suministrados por la onda en la entrada del filtro. Este tipo de reacción recibe el nombre de **ondulación**.

La fig. 5-14 muestra lo que sucede a una onda cuadrada aplicada a un filtro con diversos grados de resonancia. Obsérvese que debido a la realimentación positiva, los segmentos verticales de la onda cuadrada rebasan su nivel normal, y después oscilan a medida que intentan restablecer su nivel correcto. La frecuencia de estas oscilaciones viene determinada por la frecuencia de corte de filtro. La onda en (e) se producirá si hay o no una onda de entrada (las oscilaciones se iniciarán como resultado del ruido interno del circuito) y la frecuencia será la de corte del filtro.

5 - 11 Interconexión básica del sintetizador

La fig. 5-15 muestra una interconexión básica completa del sintetizador. Esta es la disposición más corriente utilizada para producir sonidos. Las variaciones posibles en esta interconexión son prácticamente ilimitadas. Una de las variantes más comunes es el uso de más de un módulo o elemento. Por ejemplo con muchos sonidos es mejor utilizar más de un VCO y/o más de un VCF.

El VCF es un filtro dinámico ya que debido a la actuación de las tensiones de control, sus características a menudo varían durante la producción de cada nota. A menudo también es deseable imitar simultáneamente los timbres que no varían. Esto se puede hacer mediante un **filtro estático**: un filtro cuyas características permanecen fijas una vez ha sido ajustado mediante sus controles en el cuadro. Generalmente este filtro se situará entre el VCF y el VCA.

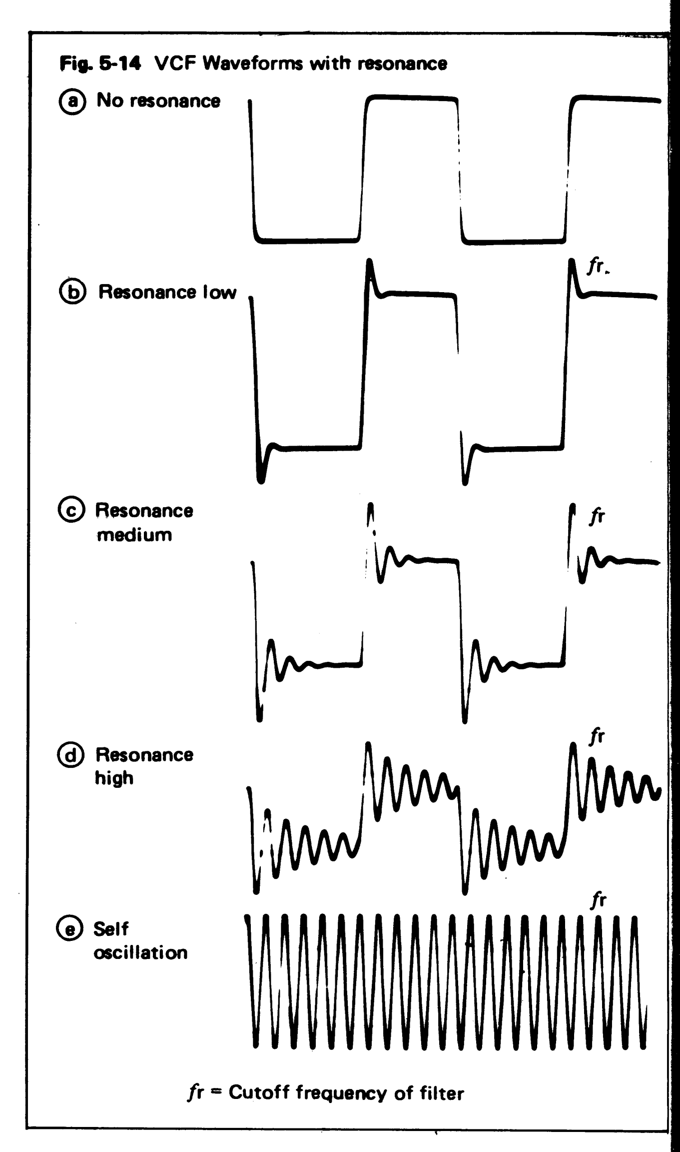


Fig. 5-14 Ondas con resonancia de un VCF
a) sin resonancia
b) baja resonancia
c) resonancia intermedia
d) alta resonancia
e) autooscilación
f = frecuencia de corte del filtro

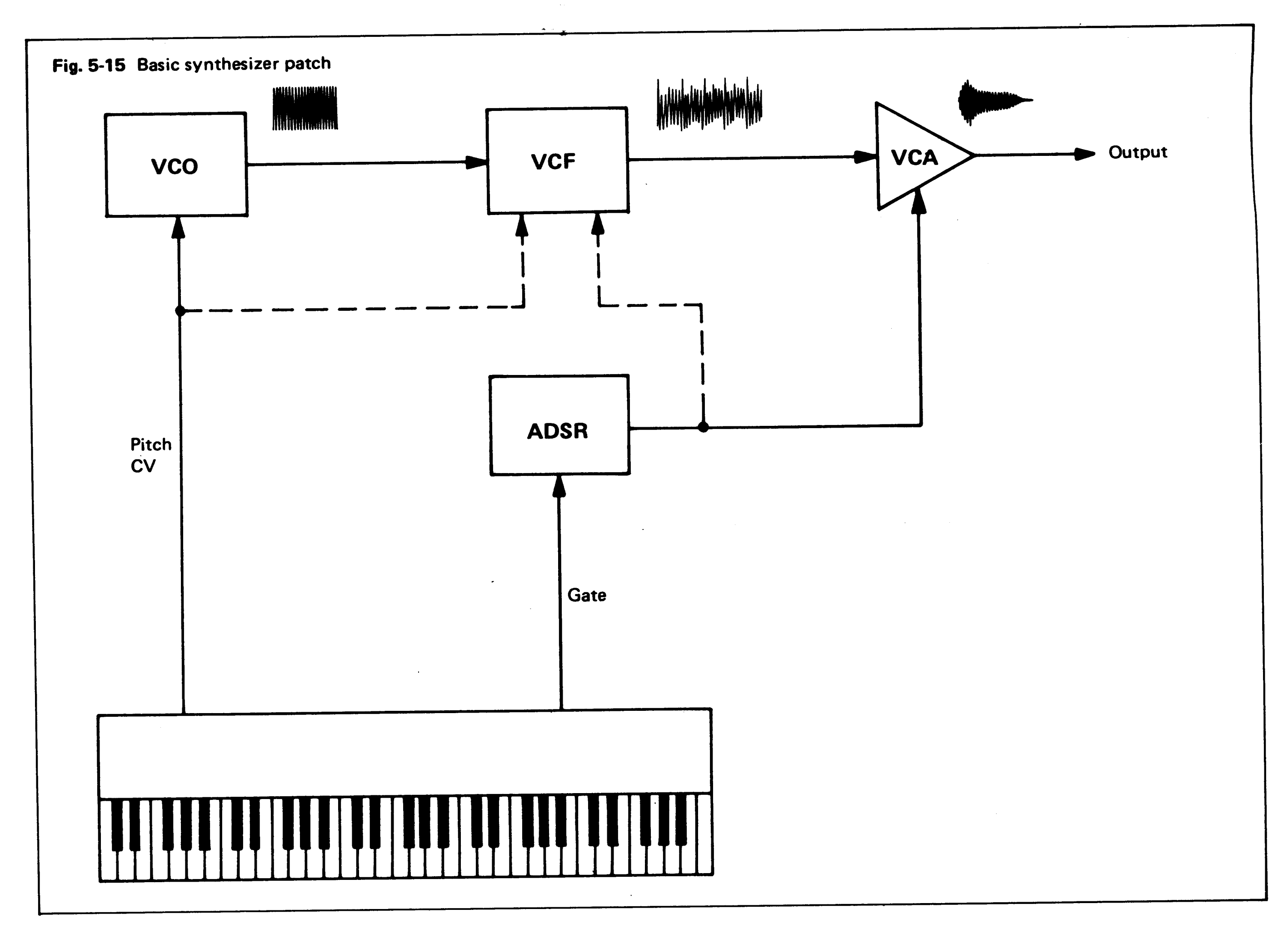


Fig. 5-15 Interconexión básica del sintetizador
Tono CV
Puerta
Salida

5 - 12 Cuestionario

1. ¿Cuál es la diferencia entre ruido blanco y ruido rosa?
2. ¿Cuáles son los cuatro tipos de filtro generalmente utilizados en música electrónica? ¿Cuáles son sus funciones básicas?
3. ¿Cómo se determina la frecuencia de corte de un filtro?
4. ¿Qué significa si decimos que un filtro tiene una pendiente de – 24 dB/8va?
5. ¿Por qué es necesario controlar la frecuencia de corte de un filtro con la tensión de control del teclado?
6. En un sintetizador con un VCO exponencial de 1V/8va. ¿qué relación tensión/frecuencia debiera utilizarse para los filtros? ¿Por qué?
7. En un sonido con un elevado filtraje pasaalto los armónicos graves faltan en el sonido de salida. ¿Por qué el sonido todavía retiene su sentido de fundamental?
8. Dibuje los diagramas correspondientes a los efectos de filtraje pasabajo y pasaalto sobre una onda cuadrada.
9. ¿Cómo se induce la resonancia en un filtro? ¿Cómo afecta la curva de respuesta de frecuencia del filtro? ¿Cómo afecta a una onda cuadrada?
10. ¿En qué consiste el fenómeno de ondulación en un filtro? ¿Cómo afecta el fenómeno de ondulación de un filtro sobre una entrada de onda cuadrada?

Palabras a definir

autooscilación
BPF
filtro
filtro controlado por tensión
filtro de eliminación de banda
filtro pasaalto
filtro pasabajo
filtro pasabanda
frecuencia de corte
HPF
LPF
ondulación (filtro)
oscilación
pendiente de un filtro
realimentación
realimentación negativa
realimentación positiva
resonancia (filtro)
ruido
ruido blanco
ruido rosa
VCF
zumbido

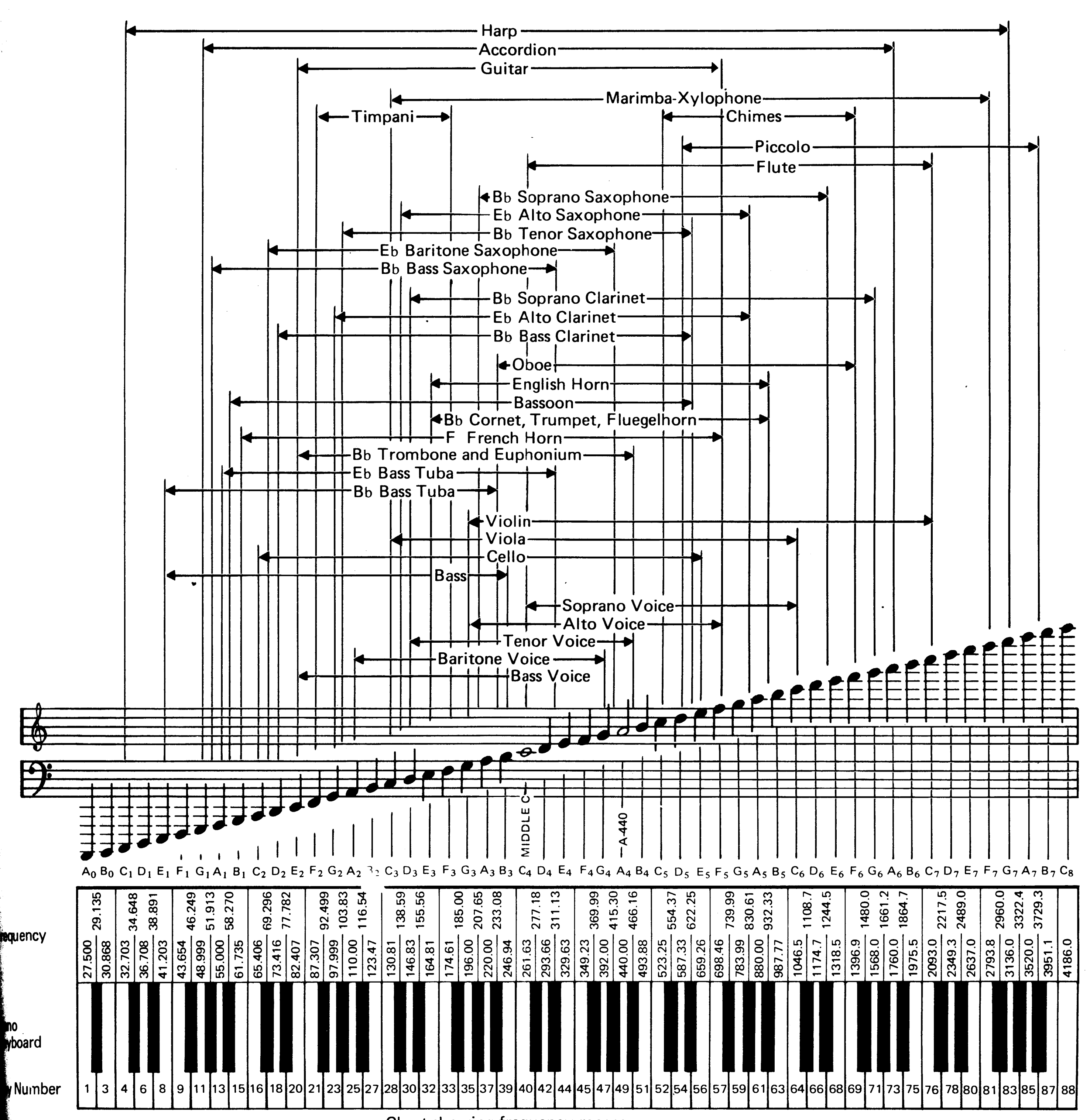


Chart showing frequency ranges

RELACIONES METRICAS

SIMBOLO	PREFIJO		VALOR
T	tera	1.000.000.000.000	billón
		100.000.000.000	cien mil millones
		10.000.000.000	diez mil millones
G	giga	1.000.000.000	mil millones
		100.000.000	cien millones
		10.000.000	diez millones
M	mega	1.000.000	millón
		100.000	cien mil
		10.000	diez mil
K	kilo	1.000	mil
H	hecto	100	cien
D	deca	10	diez
	UNIDAD	1	UNIDAD
d	deci	0,1	décima
c	centi	0,01	centésima
m	mili	0,001	milésima
		0,0001	diez milésima
		0,00001	cien milésima
μ	micro	0,000 001	millonésima
		0,000 0001	diez millonésima
		0,000 000 01	cien millonésima
n	nano	0,000 000 001	mil millonésima
		0,000 000 0001	diez mil millonésima
		0,000 000 000 01	cien mil millonésima
p	pico (micro micro)	0,000 000 000 001	billonésima

Tabla de conversión métrica

La tabla de conversión permite una conversión rápida y fácil de un prefijo métrico a otro. Los prefijos indicados son aquellos que se utilizan más comúnmente en electrónica y música electrónica. Para utilizar la tabla busque el prefijo dado en la columna a la izquierda, siga la línea horizontal hasta la columna vertical que tenga a la izquierda, siga la línea horizontal hasta la columna vertical que tenga el prefijo deseado. La cifra indica el número de lugares que se ha de correr la coma y la flecha indica el sentido.

EJEMPLO: transforme 3 KHz en unidades (Hz), (3 KHz = 3 kiloherzios)
busque "kilo" en la columna a la izquierda; muévase a la derecha hasta la columna vertical encabezada "unidades", 3→ indica que el punto decimal se ha de correr tres lugares a la derecha, por lo tanto:
3 KHz = 3000 Hz

EJEMPLO: transforme 380 milisegundos en segundos. Busque "mili" en la columna a la izquierda; a la derecha bajo "unidades" lea: ←3, por lo tanto:
380 milisegundos = 0,38 segundos

Tabla de conversión métrica

VALOR ORIGINAL	VALOR DESEADO							
	Mega	**Kilo**	**Unidades**	**Deci**	**Centi**	**Mili**	**Micro**	**Pico**
Mega		3 →	6 →	7 →	8 →	9 →	12 →	18 →
Kilo	← 3		3 →	4 →	5 →	6 →	9 →	15 →
Unidades	← 6	← 3		1 →	2 →	3 →	6 →	12 →
Deci	← 7	← 4	← 1		1 →	2 →	5 →	11 →
Centi	← 8	← 5	← 2	← 1		1 →	4 →	10 →
Mili	← 9	← 6	← 3	← 2	← 1		3 →	9 →
Micro	← 12	← 9	← 6	← 5	← 4	← 3		6 →
Pico	← 18	← 15	← 12	← 11	← 10	← 9	← 6	

INDICE ALFABETICO

BREVE DICCIONARIO DE TERMINOS

amplifier	amplificador
antinode	antinodo
average	medio
band pass filter	filtro pasabanda
bandwidth	ancho de banda
bridge	puente
cone	cono
cut off point	frecuencia o punto de corte
decay	atenuación
delay time	tiempo de atenuación
envelope	envolvente
flute	flauta
frequency	frecuencia
gate pulse	impulso puerta
guitar	guitarra
harmonic	armónico
high pass filter	filtro pasaalto
in	entrada
inverter	inversor
key	tecla
left	izquierda
level	nivel
loudness	intensidad
low pass filter	filtro pasabajo
memory data	información en memoria
mode	modo
motion	movimiento
movement	movimento
node	nodo
noise	ruido
out	salida
output	salida
particle	partícula
peaks	picos
pink	rosa
pipe organ	órganos de tubos
pitch	nota
pressure	presión
release time	tiempo de amortiguación
resonance	resonancia
response	respuesta
rest	descanso
right	derecha
sampling	muestreo
sawtooth	diente de sierra
seconds	segundos
shaper	conformador
sine wave	onda sinusoidal
sound	sonido
source	fuente
spectrum	espectro
stored data	información almacenada
summing amp	sumador
time	tiempo
tubes	tubos
tuning control	control de afinación
vowel	vocal
water	agua
wave	onda
waveforms	tipos de onda
wavelength	longitud de onda
white	blanco